

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ В АГРОЦЕНОЗАХ КУКУРУЗЫ НА ЧЕРНОЗЕМАХ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ

Н. С. Горбунова¹, А. Ф. Стулин²

¹Воронежский государственный университет

²Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы

Поступила в редакцию 21.06.2016 г.

Аннотация. Определено содержание и подвижные формы соединений Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd в пахотном и подпахотном слоях выщелоченного чернозема при длительном (50 лет) внесении минеральных удобрений под кукурузу выращиваемую в севообороте и монокультуре. Полученные результаты по содержанию тяжелых металлов в почве и растениях кукурузы дают нам основание оценить экологическую ситуацию в агроценозах при внесении рекомендуемых доз удобрений как вполне удовлетворительной, что обеспечивает выращивание экологически безопасной продукции растениеводства.

Ключевые слова: чернозем выщелоченный, длительные опыты, удобрения, кукуруза, севооборот, монокультура, тяжелые металлы.

Abstract. The contents of total and mobile forms Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd in arable and underarable layers leached chernozems is determined at long (50 years) entering of mineral fertilizers under corn growing in a crop rotation and a monoculture. The received results under the contents of heavy metals in ground and plants of corn give us the basis to estimate an ecological situation in agrarian landscapes at entering recommended dozes of fertilizers as quite satisfactory, that provides cultivation of ecologically safe production of cultivation of plants.

Keywords: chernozem leached, long experiences, fertilizers, corn, a crop rotation, a monoculture, heavy metals.

В повышении эффективного плодородия черноземов и, как следствие урожайности сельскохозяйственных культур первостепенное значение принадлежит применению минеральных и органических удобрений. Но кроме элементов питания, необходимых для нормального роста и развития растений, удобрения, особенно фосфорные, калийные и органические могут содержать более 20 тяжелых металлов (ТМ) и других загрязнителей [1, 2]. В таблице 1 приведены усредненные данные по содержанию некоторых ТМ в минеральных удобрениях используемых в полевом опыте. Удобрения содержат разное количество ТМ, что обусловлено исходным сырьем и технологией его переработки. Наиболее «чистыми» являются азотные удобрения, а фосфорные, калийные и органические содержат существенно большее количество загрязнителей.

© Горбунова Н. С., Стулин А. Ф., 2016

Таблица 1

Среднее содержание тяжелых металлов в удобрениях, мг/кг [1]

Удобрения	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
Аммиачная селитра	7.0	15	0.5	0.9	0.3	0.3
Суперфосфат простой	200	20	19.3	24.8	12.5	3.5
Хлористый калий	20	1	12.3	19.3	12.5	4.3

Некоторые исследователи утверждают, что минеральные удобрения при длительном их применении являются основным источником загрязнения ТМ и могут накапливаться в почве, если их вынос с продукцией и вымывание их из пахотного слоя меньше поступления с удобрениями [3-5]. Накопление ТМ выше предельно-допустимых концентраций (ПДК) в почве нарушает физико-химическое равновесие и способствует раз-

рушению почвенного поглощающего комплекса, изменению структуры почвы, деградации гумуса и потери плодородия [6].

В других работах [6-9] не отмечено накопления ТМ, поступающих с удобрениями, выше экологических нормативов. Поэтому, минеральные удобрения не могут являться основным источником накопления ТМ в почве в настоящее время.

Целью наших исследований было установление влияния ежегодного внесения полного минерального удобрения, обеспечивающего высокую продуктивность кукурузы, на валовое содержание и накопление подвижных форм соединений ТМ в пахотном и подпахотном горизонтах агрочернозема и содержание, и вынос их наземной фитомассой кукурузы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в двух длительных стационарных полевых опытах Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы с географическими координатами: 51°36,480' с. ш. 38°58,159' в. д. Опыты включены в реестр Географической сети опытов с удобрениями и имеют аттестаты длительных опытов №151 и 152 [10]. Опыт представлен тремя полями десятипольного севооборота и одним полем с бессменным посевом кукурузы. Кукуруза в монокультуре выращивается с 1960 года. Это самый длительный продолжающийся опыт с монокультурой кукурузы не только в Российской Федерации, но и в ближнем зарубежье.

Минеральные удобрения вносятся ежегодно осенью под вспашку в виде аммиачной селитры (Наа), двойного суперфосфата (Рст) и калийной соли (Кх). Посевная площадь делянки 269.5 м², учетная – 192.5 м². Повторность трехкратная. Агротехника высокопродуктивных районированных гибридов кукурузы первого поколения общепринятая для зоны. Урожайность учитывали методом сплошного взвешивания.

Объект исследования: чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый на покровной карбонатной глине. Согласно классификации 2004 года – агрочернозем глинисто иллювиальный. Агротехническая характеристика пахотного слоя почвы: содержание гумуса 5.6 %, общего азота 0.24 %, фосфора 0.15 %, калия 2.0 %, рНводн. 6,6, сумма поглощенных оснований 38.4 ммоль(+)/100 г почвы, степень насыщенности основаниями превышала 90 %. Почвенные образцы отбирали в июне с помощью

бура с глубин 0-20 и 20-40 см в 5 точках учетной площади из следующих вариантов: кукуруза в севообороте без удобрений и на фоне N₆₀P₆₀K₆₀, монокультура кукурузы без удобрений и на фоне N₆₀P₆₀K₆₀, черный пар без удобрений.

Валовое содержание тяжелых металлов – Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd определяли сухим озолением почв с дальнейшей обработкой азотной кислотой 1:1 и H₂O₂ (конц.) с конечным определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре КВАНТ – Z. ЭТА [11]. Подвижные соединения ТМ – Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd – определены в вытяжке 1 н HNO₃ в соотношении почва – раствор 1:5 и в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) с рН=4,8 в соотношении почва – раствор 1:10 атомно-абсорбционным методом на спектрометре. Чувствительность определения 0.01 мкг/л, точность 10 % [12]. Тяжелые металлы определялись в зерне и листостебельной массе кукурузы (*Zea mays* L.) – среднеранний гибрид Воронежский 230 СВ. Определение ТМ проводилось тем же методом после сухого озоления растительного материала [11]. Влияние длительного применения удобрений под кукурузу выращиваемую в севообороте и монокультуре в стационарных опытах на агрохимические и биологические свойства чернозема выщелоченного отражено в ряде работ [13-16].

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определение валового содержания Mn, Zn, Cu, Pb, Ni и Cd в агроценозах кукурузы в полевом опыте показало, что исследуемая почва содержала на удобренном фоне такое же количество ТМ как и на делянках контрольных вариантов (табл. 2). Валовое содержание ТМ в пахотном и подпахотном слоях почвы по изучаемым вариантам составило: Mn – 615-656 мг/кг (ПДК = 1500 мг/кг); Zn – 63.6-69.1 мг/кг (ПДК = 150 мг/кг); Cu – 17,6-22,7 мг/кг (ПДК = 100 мг/кг); Pb – 14.5-20.6 мг/кг (ПДК = 100 мг/кг); Ni – 22.9-39.2 мг/кг (ПДК = 100 мг/кг); Cd – 0.18-0.31 мг/кг (ПДК = 1 мг/кг). Внесение удобрений и место выращивания кукурузы не влияло на содержание ТМ. Лишь в черном пару отмечено повышение содержания Pb в 0-40 см слое почвы в сравнении с кукурузой в севообороте на 23 %, в монокультуре на 12 %, по Ni это превышение было соответственно на 40 и 28 %. Данное явление можно объяснить тем, что мощная корневая система кукурузы потребляет значительное количество элементов минерального питания, а также ускоряет процесс минерализации органического

вещества. Общеизвестным является положение об интенсивном комплексообразовании между органическим веществом и многими ТМ, в том числе Pb и Ni. А поскольку кукуруза выносит органическое вещество из почвенной толщи, то связанные с ним ТМ также теряются.

Согласно градации почв по обеспеченности растений микроэлементами, растворяемыми ААБ

(рН 4.8), почвы имели низкую обеспеченность цинком (от 0.50 до 0.75 мг/кг), никелем (1.04-1.13 мг/кг), кадмием (0.02-0.06 мг/кг), среднюю по свинцу (2.02-3.37 мг/кг) и высокую по марганцу (50.7-59.8 мг/кг) и меди (3.3-4.1 мг/кг). При сравнении содержания подвижных форм ТМ в пахотном и подпахотном слоях почвы установлено, что на всех изучаемых вариантах максимальное их ко-

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в почве при выращивании кукурузы в длительных стационарных опытах, мг/кг

Вариант	Слой, см	Mn		Zn		Cu		Pb		Ni		Cd	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Кукуруза в севообороте (5 ротаций)													
Без удобрений	0-20	620	53.0	67.4	0.59	19.5	3.6	15.8	2.47	30.3	1.13	0.25	0.06
	20-40	615	50.7	63.8	0.53	17.6	3.3	14.8	2.02	24.7	1.06	0.22	0.02
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	644	55.2	64.0	0.75	21.4	3.9	16.4	2.92	28.4	1.03	0.24	0.07
	20-40	630	51.6	63.6	0.70	20.1	3.7	14.5	2.14	22.9	0.93	0.18	0.02
Кукуруза в монокультуре (с 1960 г.)													
Без удобрений	0-20	635	56.4	68.7	0.56	20.0	3.5	17.6	2.91	31.4	1.03	0.29	0.06
	20-40	620	51.0	66.9	0.50	18.7	3.3	16.3	2.25	29.0	0.93	0.25	0.02
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0-20	656	58.7	66.5	0.71	22.0	4.1	18.9	2.99	29.9	1.10	0.31	0.06
	20-40	633	52.5	65.1	0.67	20.5	3.8	15.1	2.20	25.7	0.76	0.22	0.02
Черный пар (с 1960 г.)													
Без удобрений	0-20	630	59.8	69.1	0.61	22.7	3.8	20.6	3.37	39.2	1.04	0.28	0.05
	20-40	615	54.0	67.4	0.55	21.0	3.4	17.4	3.01	35.0	1.01	0.27	0.04
ПДК		1500	700	150	23	100	30	100	6	100	4	1	0.5

Примечание: 1 – валовое содержание; 2 – подвижные формы.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов в растениях кукурузы, мг/кг сухого вещества

Элемент	ПДК	Кукуруза в севообороте		Кукуруза в монокультуре	
		Без удобрений	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	Без удобрений	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀
Содержание ТМ в зерне					
Mn	-	5.1	5.5	5.4	6.1
Zn	25	15.4	16.0	13.6	14.8
Cu	25	0.75	0.79	0.83	0.88
Pb	10	0.20	0.17	0.14	0.18
Ni	0,5	0.36	0.31	0.45	0.46
Cd	0.1	0.010	0.013	0.010	0.014
Содержание ТМ в листостебельной массе					
Mn	-	22.4	20.7	23.1	22.0
Zn	150	7.9	8.0	8.5	9.1
Cu	20	1.50	1.59	1.67	2.00
Pb	10	0.51	0.52	0.63	0.63
Ni	20	0.91	0.91	0.92	0.84
Cd	0.1	0.016	0.014	0.020	0.018

личество находится в пахотном слое, что позволяет утверждать, что данный слой является важным сорбционным барьером для изучаемых элементов.

К группе опасных загрязнителей почвы и продукции растениеводства относится кадмий, безбарьерный химический элемент, легко проникающий в растения. Поскольку в удобрениях этот элемент находится в основном в подвижном состоянии он легко проникает в растения. Загрязнение почвы кадмием считается одним из наиболее опасных экологических явлений, так как он может накапливаться в растениях выше нормы даже при слабом загрязнении почвы [6, 17]. Удобрения и место выращивания кукурузы не влияли на содержание подвижных соединений Cd и Ni. В среднем независимо от фона и глубины отбора почвенных образцов содержание подвижного Pb в монокультуре было несколько выше, что связано с различным потреблением его кукурузой и культурами севооборота. Содержание Pb в черном пару в слое 0-20 и 20-40 см составило соответственно 3.37 и 3.01 мг/кг, что больше чем в монокультуре на 0.46 и 0.76 мг/кг и в севообороте на 0.90 и 0.99 мг/кг.

Повышение продуктивности кукурузы путем внесения минеральных удобрений должно быть неразрывно связано с контролем качества получаемой основной и побочной продукции. Большое значение имеют исследования по изучению поступления ТМ в растения кукурузы в зависимости от места ее выращивания и агрохимического фона.

Подвижность и поступление ТМ в растения очень изменчивы и определяются многими фак-

торами: вид растений, почвенными и климатическими условиями. В настоящее время накоплено достаточное количество данных, свидетельствующих о способности корневой системы задерживать поступающие из почвы ТМ. Эта способность обусловлена наличием в растениях физиологических барьеров. О наличии таких барьеров свидетельствует следующий характер распределения ТМ в биомассе растений: корень > наземная масса > генеративные органы [18].

Содержание ТМ в зерне кукурузы колебалось в зависимости от агрофона и места выращивания кукурузы: Mn 5.1-6.1; Zn 13.6-16.0; Cu 0.75-0.88; Pb 0.14-0.20; Ni 0.31-0.46; Cd 0.010-0.014 мг/кг сухого вещества (табл. 4). Ежегодное внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ способствовало увеличению ТМ в зерне кукурузы. Количество Mn в зерне кукурузы выращиваемой в севообороте выросло на 8 %, в монокультуре на 13 %, Zn соответственно на 4 и 9 %, Cu на 5 и 6 % и Cd на 30 и 40 %. Содержание Pb в зерне на удобренных участках было меньше на 0.03-0.04 мг/кг, а Ni на 0.05 мг/кг, что видимо связано с эффектом «ростового» разбавления.

Количество ТМ в побочной продукции кукурузы находилось в пределах: Mn 20.7-22.4; Zn 7.9-9.1; Cu 1.50-2.00; Pb 0.51-0.63; Ni 0.84-0.92; Cd 0.014-0.018 мг/кг сухого вещества. В среднем по всем изучаемым вариантам содержание ТМ в листостебельной массе было значительно выше, чем в зерне, за исключением Zn.

Таблица 4

Вынос тяжелых металлов наземной фитомассой кукурузы, г/га (среднее за 2013-2015 гг.)

Вариант	Урожай зерна, т/га	Вынос ТМ растениями кукурузы (зерно+стебли)					
		Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
Кукуруза в севообороте							
Без удобрений	4.63	137.9	102.8	10.9	3.5	6.2	0.12
$N_{60}P_{60}K_{60}$	6.40	185.1	147.8	16.2	4.8	8.5	0.17
Кукуруза в монокультуре							
Без удобрений	3.85	120.4	82.8	10.2	3.3	5.6	0.12
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5.69	176.1	132.9	17.6	5.1	7.8	0.19

Таблица 5

Продуктивность кукурузы в севообороте и монокультуре, т/га (средние данные за 1971-2015 гг.)

Показатели	Кукуруза в севообороте			Кукуруза в монокультуре			Прибавки за счет севооборота	
	Без удобрений	$N_{60}P_{60}K_{60}$	НСП _{0,5}	Без удобрений	$N_{60}P_{60}K_{60}$	НСП _{0,5}	Без удобрений	$N_{60}P_{60}K_{60}$
Зеленая масса	26.2	35.0	2.9	22.1	32.2	2.4	4.1	2.8
Сухое вещество	6.42	8.95	0.70	5.65	8.36	0.66	0.77	0.59
Зерно	3.42	4.71	0.35	2.81	4.13	0.32	0.61	0.58

На основании полученных данных по урожаю зерна кукурузы и побочной продукции, а также содержания ТМ произведен расчет выноса изучаемых элементов (табл. 4). Как показывают расчеты, наибольший вынос ТМ кукурузой отмечен на удобренном фоне в севообороте, который обусловлен ростом урожая основной и побочной продукции. В целом, несмотря на сравнительно невысокое содержание элементов в зерне и листовых частях кукурузы, с урожаем выносятся существенное количество ТМ (табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительное применение минеральных удобрений на черноземе выщелоченном показывает, что содержание ТМ остается в пределах допустимых уровней загрязнения, превышение ПДК ни по одному из элементов не обнаружено. Валовое содержание в почве Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Cd соответствовало фоновому, при этом почва имела низкую обеспеченность по Zn, Ni, Cd, среднюю по Pb и высокую по Mn и Cu. Максимальное количество ТМ находится в пахотном слое, что подтверждает, что данный слой является важным сорбционным барьером для изучаемых элементов. Применяемая в опыте оптимальная доза удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ под кукурузу обеспечивает получение экологически безопасной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва – растение – удобрения / М.М. Овчаренко // Химия в сельском хозяйстве. — 1995. № 4. — С. 8-9.
2. Сидорова И.И. Влияние различных агротехнологий на валовое содержание тяжелых металлов в пахотном слое чернозема выщелоченного / И.И. Сидорова, О.А. Прядко, С.В. Есипенко // Научный журнал Куб. ГАУ. — 2007. — №27(3). — С. 24-32.
3. Гомонова Н.Ф. Влияние длительного применения агрохимических средств на дерново-подзолистых почвах на трансформацию тяжелых металлов в системе почва – растение / Н.Ф. Гомонова // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. — М.: Агроэколас. — 1994. — С. 180-186.
4. Басманов А.Е. Экологическое нормирование применения удобрений в современном земледелии / А.Е. Басманов, А.В. Кузнецов // Вестник с.-х. науки. — 1999. — №8. — С. 88-91.
5. Безуглов В.Г. Минеральные удобрения и свойства почвы / В.Г. Безуглов, Г.Д. Гогмачадзе // АгроэкоИнфо. — 2009. — №2. — С. 3-7.
6. Крамарев С.М. Агроэкологическая оценка применения минеральных удобрений в агроценозах кукурузы в условиях Степной зоны Украины / С.В. Крамарев, Л.Н. Скрипник, В.Е. Коваленко // Агрохимия. — 2000. — №2. — С. 67-72.
7. Кураков В.И. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов в выщелоченном черноземе и продукции зерносвекловичного севооборота / В.И. Кураков, О.А. Минакова, Л.В. Александрова // Агрохимия. — 2006. — №11. — С. 59-66.
8. Карпухин А.И. Влияние применения удобрений на содержание тяжелых металлов в почвах длительных полевых опытов / А.И. Карпухин, Н.Н. Бушуев // Агрохимия. — 2007. — №5. — С. 76-84.
9. Протасова Н.А. Формы соединений цинка, никеля, свинца и кадмия в обыкновенных черноземах Каменной степи при длительном применении удобрений и фосфогипса / Н.А. Протасова, Н.С. Горбунова // Агрохимия. — 2010. — №5. — С. 90-99.
10. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. — М.: ВНИИА, 2012. — Вып. 4. — 68 с.
11. Кузнецов А.В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Сесюн, И.Г. Самохвалов, А.П. Махонько. — М., 1992. — 61 с.
12. Спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ-Z.ЭТА. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ГКНЖ.0900.000Т0. — М., 1995. — 57 с.
13. Романычева А.А. Сравнительная оценка микробоценоза почв в ризосфере *Zea mays* в условиях монокультуры и в севообороте на разных агрохимических фонах / А.А. Романычева. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. к. б. н. — М., 2014. — 25 с.
14. Стулин А.Ф. *Zea mays* L. в монокультуре и севообороте в условиях Центрального Черноземья / А.Ф. Стулин, А.А. Романычева, Н.В. Верховцева // Проблемы агрохимии и экологии. — 2014. — №12. — С. 12-18.
15. Стахурлова Л.Д. Продуктивность кукурузы в условиях длительного применения различных агротехнических приемов на черноземах выщелоченных / Л.Д. Стахурлова, А.Ф. Стулин, А.И. Громовик // Вестник ВГУ. Сер. Хим. Биол. Фармац. — 2015. — №2. — С. 92-95.
16. Стахурлова Л.Д. Ферментативная активность черноземов выщелоченных в длительном

Горбунова Н. С., Стулин А. Ф.

опыте с удобрениями / Л.Д. Стахурлова, А.Ф. Стулин // Сахарная свекла. — 2016. — №1. — С. 30-33.

17. Носко Б.С. Экологические последствия применения высоких доз минеральных удобрений на черноземе типичном / Б.С. Носко, Е.Ю. Гладких // Проблемы агрохимии и экологии. — 2013. — №2. — С. 32-37.

18. Лебедева Л.А. Влияние последствий разных систем удобрений на защитные физиологические функции растения на дерново-подзолистой почве, загрязненной тяжелыми металлами / Л.А. Лебедева, Ю.Б. Соловьева // Экологическая агрохимия. — М.: Россельхозакадемия, 2008. — Вып. 2. — С. 66-81.

Воронежский государственный университет

Voronezh state university

Горбунова Н. С., кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами

Тел.: 220-85-77

E-mail: vilian@list.ru

Gorbunova N. S., PhD, the senior teacher, dept. of soil science and management of ground resources

Ph.: 220-85-77

E-mail: vilian@list.ru

Воронежский филиал ФГБНУ ВНИИ кукурузы

FGBNU VNIИ of corn

Стулин А. Ф., ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук

E-mail: opytное@mail.ru

Stulin A. F., PhD, the leading scientific

E-mail: opytное@ymail.ru