

УДК 631.41 (470.32)

ВЕРОЯТНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ СВИНЦОМ И КАДМИЕМ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ УДОБРЕНИЙ И МЕЛИОРАНТОВ В УСЛОВИЯХ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

*Н.С. Горбунова, к.б.н., Воронежский государственный университет,
Е.В. Куликова, к.б.н., Воронежский государственный аграрный университет
394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1, ВГУ, vilian@list.ru
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1, ВГАУ*

Показано, что многолетнее применение минеральных удобрений и мелиорантов способно вносить изменения в круговорот таких опасных загрязнителей биосферы как Pb и Cd. В результате исследований, проводившихся в стационарном полевом опыте Каменной степи, отмечено увеличение содержания Cd не только в почвенном покрове, но и в исследуемом зерне растениеводческой продукции (тритикале). Это объясняется высокой подвижностью металла, которая способна возрастать в результате интенсивного ведения сельскохозяйственного производства. На подвижность Pb внесение удобрений и мелиорантов существенного влияния не оказывает, что отражается и на качестве растительного материала.

Ключевые слова: Pb, Cd, соединения тяжелых металлов (ТМ), полевой опыт, удобрения, химическая мелиорация, фосфогипс, тритикале.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.117.16

Современное ведение сельскохозяйственного производства подразумевает применение различных средств химизации, среди которых ведущую роль занимают удобрения. Химическая мелиорация применяется для устранения многих неблагоприятных факторов, таких как повышенная кислотность или щелочность почвенного раствора, присутствие обменного натрия и других негативных свойств, которые всегда приводят не только к потере урожая, но и к прогрессирующему ухудшению почвенных свойств. Данные многочисленных исследований [2, 3, 5, 8], а также служб, контролирующих качество минеральных удобрений и мелиорантов [1, 11], показывают присутствие в их составе элементов-примесей. Для предотвращения неблагоприятных последствий химизации сельского хозяйства необходимо регулярно проводить мониторинговые исследования, позволяющие осуществить контроль за качеством почвенного покрова и сельскохозяйственной продукции, произрастающей на нем.

Исследуемые ТМ – Pb и Cd являются загрязнителями окружающей среды [14] и вместе с тем входят в состав используемых минеральных удобрений и фосфогипса. Постоянное поступление данных элементов в почвенный покров способно вызывать их накопление и поступление в растительные организмы, а по цепочке – в организм человека.

Цель наших исследований – установить валовое содержание и количество подвижных соединений Pb и Cd в почвах и зерне тритикале озимой в многофакторном полевом опыте в Каменной степи.

Методика. Исследования по влиянию минеральных удобрений и фосфогипса на содержание ТМ проводили в полевом опыте, заложенном методом расщепленных делянок (расположение систематическое) в 4-кратной повторности. Их проводили в Каменной степи в 2017-2019 гг. В основу опыта положен десятипольный севооборот: 1 – горох; 2 – озимая пшеница; 3 – сахарная свекла; 4 – ячмень; 5 – кукуруза; 6 – горох; 7 – тритика-

ле; 8 – просо; 9 – ячмень; 10 – кукуруза. Изучали три уровня обеспеченности почв элементами минерального питания: естественный (удобрения не вносили), повышенный (в запас $N_{200}P_{300}K_{300}$) и высокий (в запас $N_{300}P_{600}K_{600}$). На всех фонах ежегодно вносили минеральные удобрения в дозе $N_{40}P_{40}K_{40}$. В качестве минеральных удобрений использовали суперфосфат двойной гранулированный, аммиачную селитру и 40 %-ную калийную соль. Площадь делянок первого порядка 320 м². Вторым фактором опыта является эффективность фосфогипса при разных уровнях удобренности севооборота. Площадь делянок второго порядка 160 м². Схема сочетает два варианта: с мелиорантом и без него. Внесение 3 т/га фосфогипса осуществляли 1 раз за ротацию севооборота. Помимо действующего вещества фосфогипс и удобрения в качестве примесей содержат Pb и Cd в размере 5,8 и 0,45 мг/кг соответственно.

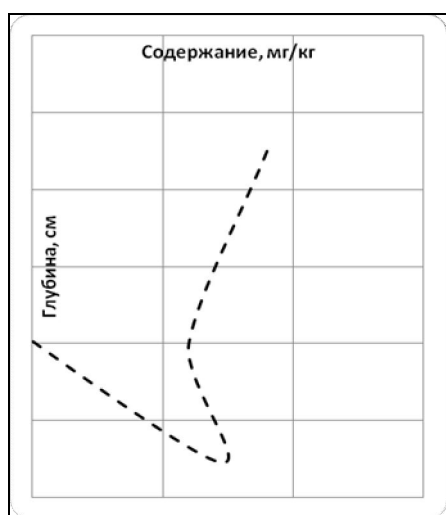
Почвенные образцы отбирали буром методом «конверта» с глубины 0-20, 40-50 и 70-80 см. Основные химические и физико-химические показатели изучаемых черноземов обыкновенных определяли по общепринятым методикам [12]. Валовое содержание ТМ устанавливали с помощью сухого озоления почв их дальнейшей обработкой HNO_3 (1:1) и H_2O_2 (конц.) [6]. Обменные соединения определяли в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) (рН 4,8) в соотношении почва : раствор – 1:10. Конечное определение Pb и Cd проводили атомно-абсорбционным методом на спектрометре КВАНТ – Z. ЭТА. Чувствительность определения ТМ – 0,01 мкг/л, точность 10 %. ТМ определяли в зерне тритикале озимой – сорт Тальва 100 [6]. Вариационно-статистическая обработка полученных данных выполнена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение. В исследуемом черноземе обыкновенном среднегумусном среднесильнозольном на покровной карбонатной глине отмечается близкая к нейтральной реакция почвенного раствора. Большая кислотность – $pH_{водн.}$ 6,0-6,3 отмече-

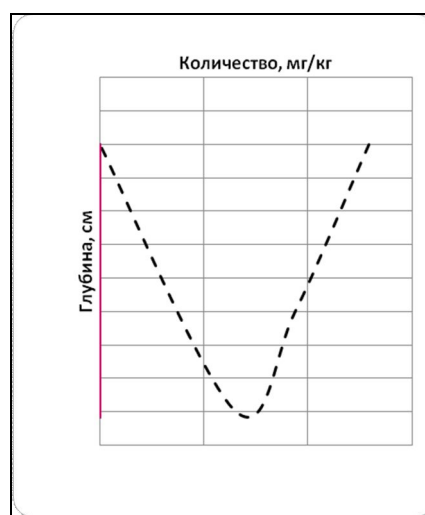
на в вариантах опыта с применением удобрений, поскольку они способны подкислять реакцию среды. В вариантах с внесением фосфогипса нейтральная реакция почвенного раствора – $pH_{\text{водн.}}$ 7,07. Фосфогипс, имея в своем составе кислые компоненты, иногда способен подкислять почвенный раствор. Но в данном случае такое явление не наблюдалось, возможно, вследствие поглощения серных компонентов растениями, недостаток которых очень часто отмечается при интенсивном использовании черноземов в сельском хозяйстве. Вниз по профилю всех вариантов опыта происходит подщелачивание ($pH_{\text{водн.}}$ до 8,01) вследствие влияния карбонатов почвенного раствора. Гидролитическая кислотность низкая ($0,45 \pm 0,09$ смоль(экв)/кг почвы) и отмечается только в вариантах опыта с применением удобрений. Среднее содержание гумуса в верхнем горизонте почв $6,4 \pm 0,08$ %. Вниз по профилю черноземов происходит очень постепенное снижение количества гумуса до $1,05 \pm 0,03$ %. Наибольшая сумма обменных катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} отмечена в верхнем горизонте в варианте с высокими дозами минеральных удобрений и мелиоранта ($39,7$ смоль(экв)/кг почвы). С

глубиной данный показатель уменьшается в почвах всех вариантов вслед за снижением содержания органического вещества. Известно, что обменные катионы, особенно Ca^{2+} , способны образовывать комплексные соединения с органическим веществом преимущественно гуматного типа [9]. Содержание щелочногидролиземого азота и обменного калия в черноземах исследуемого опыта довольно высокое – 21,7 и 29,1 мг/100 г почвы соответственно. Содержание подвижного фосфора не превышает 10 мг/100 г почвы, т.е. почвы относятся к среднему уровню обеспеченности этим элементом.

Свинец. Валовое содержание Pb в почвах исследуемого участка составляет в среднем 19,0 мг/кг (слой 0-20 см). Вниз по профилю происходит его постепенное снижение (рис.). По данным ряда авторов, такое явление отмечается вследствие взаимодействия катиона Pb с гуминовыми кислотами, в результате чего образуются прочные органоминеральные комплексы [9]. Внесение некоторого количества металла в составе примесей фосфогипса не оказывает существенного влияния на его содержание.



Валовое содержание



Вытяжка ААБ

Рис. Профильное распределение валового содержания и подвижных соединений Pb в черноземах обыкновенных опытного участка

Наибольшее количество подвижного Pb отмечено в почве на контрольной делянке естественного фона (табл.).

Содержание подвижных соединений ТМ в черноземе обыкновенном Каменной степи, мг/кг (среднее за 2017-2019 гг., глубина 0-20 см)

Уровень обеспеченности почвы элементами питания	Вариант	Подвижные соединения ТМ $\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$			
		Pb		Cd	
		I	II	I	II
Естественный	Контроль	$1,59 \pm 0,17$	$1,41 \pm 0,14$	$0,06 \pm 0,02$	$0,10 \pm 0,04$
	$N_{60}P_{60}K_{40}$	$1,25 \pm 0,27$	$1,45 \pm 0,03$	$0,07 \pm 0,03$	$0,08 \pm 0,03$
Повышенный	Контроль	$1,39 \pm 0,26$	$1,34 \pm 0,19$	$0,09 \pm 0,02$	$0,16 \pm 0,01$
	$N_{60}P_{60}K_{40}$	$1,28 \pm 0,23$	$1,29 \pm 0,17$	$0,13 \pm 0,04$	$0,18 \pm 0,01$
Высокий	Контроль	$1,30 \pm 0,22$	$1,36 \pm 0,19$	$0,11 \pm 0,05$	$0,13 \pm 0,05$
	$N_{60}P_{60}K_{40}$	$1,28 \pm 0,20$	$1,28 \pm 0,15$	$0,13 \pm 0,06$	$0,14 \pm 0,06$
НСП ₀₅		0,16		0,03	

Примечание. I – вариант без фосфогипса, II – вариант с фосфогипсом, \bar{x} – среднее арифметическое, мг/кг; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического.

С повышением уровня обеспеченности почвы элементами минерального питания прослеживается

уменьшение его содержания. Это связано с высокими дозами минеральных удобрений, которые способствуют переводу Pb в малоподвижные соединения. Применение минеральных удобрений совместно с фосфогипсом не приводит к заметному изменению количества подвижного Pb в черноземе обыкновенном.

Концентрация Pb в зерне тритикале, в зависимости от условий возделывания растения, – от 0,16 до 0,49 мг/кг. Максимальная концентрация Pb сосредоточена в зерне тритикале при высоком уровне обеспеченности почвы элементами минерального питания. При внесении фосфогипса наблюдается незначительное уменьшение содержания Pb в зерне тритикале. Согласно полученным данным, внесение минеральных удобрений не влияет на накопление Pb в растении. При совместном применении удобрений и мелиоранта происходит незначительное уменьшение количества Pb в зерне тритикале. Это связано с меньшим поступлением металла в растения вследствие уменьшения его подвижности с 8,37 до 6,74%. Фитотоксичной концентрацией для растений считается содержание Pb более 60 мг/кг [4, 10].

Полученные данные свидетельствуют об отсутствии загрязнения зерна растениеводческой продукции, а также черноземов обыкновенных Pb, поскольку его валовое содержание и подвижные соединения не превышают ПДК=30 и 6 мг/кг (соответственно), установленные для данных почв [7].

Кадмий. Валовое содержание Cd в верхнем 0-20 см слое почвы в вариантах опыта составляет $0,35 \pm 0,03$ мг/кг. Его содержание мало меняется в пределах опыта, а также по профилю исследуемых черноземов обыкновенных. Что касается подвижных соединений металла, то следует отметить увеличение его содержания при совместном внесении удобрений и мелиоранта (см. табл.), а также увеличение степени подвижности элемента.

Концентрация Cd в зерне исследуемых образцов колеблется от 0,1 до 0,4 мг/кг сухого вещества в зависимости от условий возделывания культуры. Выявлено увеличение накопления Cd при внесении мелиоранта, что вызвано интенсивным поступлением металла в исследуемую культуру (тритикале) вследствие возрастания подвижности Cd с 17,1 % в варианте естественного уровня обеспеченности до 51,1 % при совместном использовании удобрений и мелиоранта. ПДК Cd растениеводческой продукции составляют 0,2-0,8 мг/кг [4, 10, 13]. Зерно тритикале в условиях повышенного и высокого уровней удобренности почв элементами минерального питания содержит 0,27-0,42 мг/кг Cd, что превышает нижний предел ПДК.

Валовое содержание Cd в почвах опытного участка не превышает ПДК=1 мг/кг, принятой для черноземных почв. Количество подвижного Cd в черноземе обыкновенном не превышает верхнего значения ПДК = 0,5 мг/кг, но в условиях повышенного и высокого уровней обеспеченности почв элементами питания оно достигает 0,18 мг/кг, что выше нижнего уровня ПДК = 0,1 мг/кг [7].

Выводы. Исследуемые черноземы обыкновенные опытного участка имеют благоприятные химические и физико-химические свойства, способствующие получению высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Валовое содержание ТМ и количество их подвижных соединений во всех вариантах опыта не превысило ПДК, принятые для черноземных почв. Используемые в полевом опыте минеральные удобрения и фосфогипс не являются потенциальными источниками загрязнения чернозема обыкновенного Pb и Cd даже при длительном их применении, благодаря высокой буферности

почв черноземного ряда. Кроме того, содержание Pb и Cd в применяемых средствах химизации не является критическим.

Совместное использование минеральных удобрений и фосфогипса не влияет на накопление Pb в черноземах обыкновенных, при этом отмечается увеличение степени подвижности Cd в почве. Вследствие данного явления происходит небольшое накопление Cd в зерне исследуемой растениеводческой продукции (тритикале), поскольку его содержание превысило нижний предел ПДК. Содержание Pb в исследуемом зерне тритикале не превышает ПДК.

Литература

1. Аканова, Н.И. Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации / Н.И. Аканова, И.А. Шильников // Плодородие. – 2018. – №2. – С. 9-11.
2. Аканова, Н.И. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия / Н.И. Аканова // Плодородие. – 2013. – №1(70). – С. 2-7.
3. Добрыднев, Е.П. Основные результаты исследования агроэкологической эффективности фосфогипса в земледелии Краснодарского края / Е.П. Добрыднев, М.Ю. Локтионов // Плодородие. – 2013. – №1(70). – С. 7-9.
4. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 149 с.
5. Косодуров, К.С. Эффективность применения фосфогипса в полевом севообороте с ячменем / К.С. Косодуров, Л.С. Федотова, Е.В. Князева, Н.А. Тимошина // Плодородие. – 2018. – №3. – С. 39-42.
6. Кузнецов, А.В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Фесюн, С.Г. Самохвалов, Э.П. Махонько. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
7. Обухов, А.И. Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах. – Тяжелые металлы в окружающей среде / А.И. Обухов. – М.: МГУ, 1980. – С. 20-28.
8. Окорков, В.В. Использование фосфогипса в земледелии / В.В. Окорков // Плодородие. – 2013. – №1(70). – С. 20-25.
9. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005. – 558 с.
10. Степанов, В.В. Влияние бактериализации семян ассоциативными диатрофами на поступление свинца и кадмия в растения ячменя / В.В. Степанов, Л.Ю. Юдкин, Р.М. Рабинович // Агрохимия. – 2003. – № 5. – С. 69-80.
11. Сычев, В.Г. Состояние и эффективность химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации / В.Г. Сычев, И.А. Шильников, Н.И. Аканова // Плодородие. – 2013. – №1. – С. 9-12.
12. Щеглов, Д.И. Основы химического анализа почв / Д.И. Щеглов, А.И. Громоуков, Н.С. Горбунова. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. – 332 с.
13. Ahmad I., Akhtar M.J., Zahir Z.A., Jamil A. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // Pakistan J. Botany. 2012. V. 44. №5. P. 1569-1574.
14. Verloo M., Coftenie A., Landschoot G. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. 1982. S.-H. 39. P. 394-403.

PROBABILITY OF ORDINARY CHERNOZEMS POLLUTION WITH LEAD AND CADMIUM UNDER LONG APPLICATION OF FERTILIZERS AND MELIORANTS UNDER CONDITIONS IN FIELD EXPERIENCE

N.S. Gorbunova¹, E.V. Kulikova²

¹Voronezh State University, Universitetskaya pl. 1, 394018, Voronezh, Russia, e-mail: vilian@list.ru;

²Voronezh State Agrarian University, Michurina ul. 1, 394087 Voronezh, Russia

The long-term use of mineral fertilizers and ameliorants is capable to produce changes in the cycle of such dangerous biosphere pollutants as Pb and Cd. As a result of studies conducted in the stationary field experiment of the Kamennaya Steppe, an increase in the Cd content was noted not only in the soil cover but also in the grain of crops. This phenomenon is explained by the high mobility of the metal, which can be increased as a result of intensive crop production. Fertilizers and ameliorants do not significantly affect the mobility of Pb, which affects the quality of the plant material.

Keywords: Pb, Cd, heavy metal (HM) compounds, field experiment, fertilizers, chemical reclamation, phosphogypsum, triticale.