

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДА ПРОРОСТКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.В. Шайкова, к.с.-х.н., Е.С. Волкова, Псковский НИИСХ

Установлено изменение содержания подвижных соединений тяжелых металлов (меди, цинка, свинца и кадмия) в дерново-карбонатной почве по годам. Проведена сравнительная оценка последствий загрязнения с использованием методов атомно-абсорбционного анализа и биотестирования.

Ключевые слова: система удобрения, дерново-карбонатная почва, тяжелые металлы, атомно-абсорбционный метод, метод проростков, физиологические процессы.

Химическое загрязнение почв тяжелыми металлами (ТМ) снижает урожай и качество сельскохозяйственной продукции. На Северо-Западе России имеется ряд крупных источников ТМ: авто- и железнодорожный транспорт, топливосжигающие предприятия (тепловые станции, котельные), полигоны бытовых отходов и др. Поступая из атмосферы на поверхность почвы, ТМ подвергаются трансформации и переходят в состав различных почвенных фракций [1]. В карбонатных почвах, в условиях нейтральной реакции почвенного раствора, ТМ со временем образуют малорастворимые соединения. Негативное влияние ТМ на растения в таких почвах может повышаться или понижаться в зависимости от накопления или снижения подвижных соединений токсикантов. Известно, например, что внесение минеральных удобрений усиливает мобилизацию ТМ [2]. Органические удобрения, в частности навоз, обладают протекторными свойствами. Однако, есть основания утверждать, что органические удобрения, способствуя накоплению органических кислот специфической и неспецифической природы, действуют как агенты выветривания [3, 4]. При этом происходит образование металлорганических комплексов, мобильность которых зависит от свойств металлов и органических кислот, а также от их концентрации [5].

Исследование последствий загрязнения сельскохозяйствен-

ных земель ТМ при использовании различных систем удобрения в настоящее время очень актуально и вызывает научный интерес. Тяжелые металлы, загрязняя почву, остаются в ней длительное время, что приводит к значительному экономическому ущербу и нарушению почвенного плодородия.

Цель исследований – оценить влияние различных систем удобрения на токсичность соединений ТМ в дерново-карбонатной почве, используя результаты двух методов: атомно-абсорбционного и метода проростков.

Методика. Исследования по изучению влияния свойств почвы на трансформацию ТМ в системе почва – растение проводили в полевом мелкоделяночном опыте, заложенном в 1995 г. в Печорском районе Псковской области. Опыт был восстановлен в 2003 г. с целью изучения влияния минеральных и органоминеральных систем удобрения на урожайность и гигиеническое качество клубней картофеля и кормовых корнеплодов, возделываемых на дерново-карбонатной почве в условиях загрязнения почвы ТМ.

Почва опытного участка – дерново-карбонатная типичная легкосуглинистая, с хорошо выраженным гумусовым горизонтом комковато-глыбистой структуры, укороченным профилем (50 см), сформированным на плотном известняке («плите»). Агрохимическая характеристика почвы опытного участка: рН_{KCl} -7,0-7,2, Нг-0,53 мг-экв/100 г, Р₂O₅ и К₂O (по Мачигину), соответственно, 28,0 и 93,0 мг/100 г, С_{орг} -1,3%.

Опыт проводился в 3-кратной повторности. Соли ТМ были внесены в год закладки опыта (1995) однократно для создания модели техногенного загрязнения почвы в количествах, соответствующих 300 мг/кг меди, 500 цинка, 100 свинца и 5 мг/кг кадмия.

Исследования проводили по следующей схеме:

ВАРИАНТ ОПЫТА						
1	2	3	4	5	6	7
<i>Картофель*</i>						
Кон- троль	N ₈₅ P ₆₀ K ₈₀	N ₈₅ P ₆₀ K ₈₀ + ТМ	N ₈₅ P ₆₀ K ₈₀ + ТМ + + навоз, 30 т/га	N ₈₅ P ₆₀ K ₈₀ + ТМ + + навоз, 60 т/га	N ₈₅ P ₆₀ K ₈₀ + ТМ + + навоз, 90 т/га	N ₁₇₀ P ₁₂₀ K ₁₆₀ + ТМ
<i>Кормовая свёкла**</i>						
Кон- троль	N ₁₂₀ P ₁₄₀ K ₁₄₀	N ₁₂₀ P ₁₄₀ K ₁₄₀ + ТМ	N ₁₂₀ P ₁₄₀ K ₁₄₀ + + ТМ + навоз, 30 т/га	N ₁₂₀ P ₁₄₀ K ₁₄₀ + + ТМ + навоз, 60 т/га	N ₁₂₀ P ₁₄₀ K ₁₄₀ + + ТМ + навоз, 90 т/га	N ₂₄₀ P ₂₈₀ K ₂₈₀ + ТМ

*В 1995-1999 гг. под картофель вносили аммиачную селитру, суперфосфат простой гранулированный и сульфат калия.

**Под кормовую свёклу вносили аммиачную селитру, суперфосфат простой гранулированный и калийную соль. При изучении влияния загрязнения ТМ на урожай и качество продукции, а также на плодородие почвы, в 2003-2007 гг. использовали в качестве минерального удобрения азофоску в дозах N₆₀P₆₀K₆₀ и N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

Для определения фоновых концентраций меди, цинка свинца и кадмия в изучаемой почве проведены анализы на содержание металлов по методикам, утвержденным ЦИ-НАО: валовое содержание – при кипячении в 5 н. HNO₃ с пероксидом водорода (H₂O₂); содержание кислоторастворимых форм – в 1 н. HNO₃, содержание подвижных форм – в ацетатно-аммонийном буферном растворе с рН 4,8 (ААБ с рН 4,8) [6]. Концентрацию металлов в вытяжках из почвы и растений определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант-АФА» с дейтериевым корректором фона, имеющим предел обнаружения и характеристические концентрации: медь – 0,002 и 0,07 мг/л; цинк – 0,002 и 0,03;

свинец – 0,01 и 0,05; кадмий – 0,0001 и 0,005 мг/л соответственно. Аналитические работы проводили в двух повторностях.

Содержание подвижных соединений металлов в почве оценивали в соответствии с «Классификацией почв по содержанию и степени загрязнения подвижных форм ТМ, мг/кг воздушно-сухой почвы в ААБ рН 4,8» (Обухов, 1992). Суммарный показатель загрязнения определяли по формуле:

$$Z_c = (K_1 + K_2 + \dots + K_i) - (n-1)/n,$$

$$K_{1,2,3,\dots,i} = C_{1,2,3,\dots,i} / C_{ф},$$

где К – коэффициент концентрации металла;

C_i – фактическое содержание металла в почве, мг/кг;

C_ф – содержание металла в незагрязненной почве, мг/кг;

n – количество исследуемых элементов.

Методом проростков вики посевной яровой сорта Немчиновская 72 определяли токсичность соединений ТМ [5]. Семена вики проращивали в стерильных чашках Петри на фильтровальной бумаге, сложенной в три слоя и увлажненной до полной влагоемкости водной вытяжкой из образцов почвы, отобранных в 2003 и 2005 г. Водные вытяжки готовили при соотношении 20 г почвы / 50 мл бидистиллированной

ной воды. Суспензию оставляли на 24 ч, затем фильтровали. В каждую чашку Петри помещали по 25 семян, накрывали увлажненным листом фильтровальной бумаги и ставили в термостат при $t=25-27^{\circ}\text{C}$. Ежедневно в чашки добавляли по 2 мл дистиллированной воды. Энергию прорастания определяли через 3 сут, всхожесть – через 5 сут [7]. Токсичность почвы оценивали по отношению к контрольному варианту (показатели которого принимали за 100%) в соответствии с градацией: 100% – нет токсичности, 80-90 – очень слабая, 60-80 – слабая, 40-60 – средняя, 20-40 – высокая, 0-20% – очень высокая.

Результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову.

Результаты и их обсуждение. До закладки опыта содержание подвижных соединений металлов (ААБ рН 4,8) соответствовало фоновым концентрациям в данной геохимической провинции: медь – 0,15 мг/кг почвы (3% от валового содержания), цинк – 0,64 (3%), свинец – 0,52 (7%), кадмий – кадмия при изучении последствий загрязнения дерново-карбонатной почвы представлено в таблице 1.

1. Содержание подвижных соединений металлов в почве (ААБ рН 4,8) и суммарный показатель загрязнения

Вариант опыта	Год исследования	Содержание в почве, мг/кг				Zc
		Cu	Zn	Pb	Cd	
Контроль	2003	1,6	10,6	3,8	0,42	42,0
	2005	2,1	10,6	4,0	0,32	43,3
NPK – фон чистый	2003	4,7	19,2	6,9	0,82	92,1
	2005	5,1	19,6	6,5	0,50	86,6
NPK+TM-фон загрязненный	2003	24,9	76,0	15,8	2,17	366,4
	2005	16,0	47,1	9,9	0,88	218,3
NPK+TM+навоз 30 т/га	2003	21,3	75,5	22,1	2,47	361,2
	2005	16,5	55,8	19,6	1,21	262,1
NPK+TM+навоз 60 т/га	2003	19,7	78,9	18,6	2,29	344,6
	2005	11,3	55,8	14,2	1,11	214,6
NPK+TM+навоз 90 т/га	2003	18,2	79,0	23,8	2,28	344,5
	2005	9,3	50,9	13,9	0,97	189,5
2NPK+TM	2003	25,6	83,6	21,5	2,43	400,4
	2005	17,3	57,3	16,7	1,09	261,2
HCP ₀₅		2,2	6,0	3,3	0,2	
Содержание в естественной почве		0,15	0,64	0,52	0,04	
ПДК		3,0	23,0	6,0		

2. Степень токсичности почвы по показателям развития вики посевной, % к контролю

Вариант опыта	Год	ЭП		В		M ₁₀₀		ДП	
		% к контролю	Токсичность	% к контролю	Токсичность	% к контролю	Токсичность	% к контролю	Токсичность
Контроль	2003	100	-	100	-	100	-	100	-
	2005	100	-	100	-	100	-	100	-
NPK+ TM	2003	87,0	Оч. слабая	91,2	оч сл	23,9	Высок	23,7	Высокая
	2005	103,7	-	89,8	оч сл	113,4	-	102,4	-
NPK+TM+навоз, 30 т/га	2003	87,0	Оч. слабая	110,5	-	70,1	Слабая	68,6	Слабая
	2005	72,9	Слабая	93,1	оч сл	43,3	Средняя	42,7	Средняя
NPK+ TM+навоз, 60 т/га	2003	100,0	-	105,3	-	22,4	Высокая	20,7	Высокая
	2005	92,2	-	81,3	оч сл	103,0	-	78,0	Слабая
NPK+TM+навоз, 90 т/га	2003	108,5	-	108,8	-	125,4	-	117,1	-
	2005	92,2	Оч. слабая	98,2	-	107,5	-	71,4	Слабая
2NPK+TM	2003	69,4	Слабая	94,7	оч сл	32,8	Высокая	36,6	Высокая
	2005	100,0	-	101,7	-	67,2	Слабая	58,2	Средняя

В 2003 г. содержание подвижных соединений металлов в варианте NPK+TM (Cu – 24,9 мг/кг, Zn – 76, Pb – 15,8, Cd – 2,17 мг/кг почвы) соответствовало среднему загрязнению почвы для всех исследуемых металлов, суммарный показатель загрязнения составил 91,6 ед. Максимальное значение Zc (400,4) установлено при использовании в предыдущем опыте двойной дозы NPK, минимальное (344,5) – при внесении навоза.

В 2005 г. содержание подвижных соединений металлов в варианте NPK+TM (Cu – 16,0 мг/кг, Zn – 47,1, Pb – 9,9, Cd – 0,88 мг/кг почвы) соответствовало среднему загрязнению почвы медью и слабому – цинком, свинцом и кадмием. Значение Zc снизилось до 218,3 ед. в сравнении с 2003 г. Использование суммарного показателя загрязнения в опыте позволило выявить наиболее эффективную систему удобрения для снижения содержания подвижных соединений металлов в почве. Минимальное значение Kс установлено при

0,04 мг/кг почвы (15%). Содержание прочно фиксированных соединений в почве до закладки опыта: кадмий – 76,8% от валового, цинк – 78,6, медь – 44,7, свинец – 24%.

В соответствии с «Классификацией почв по содержанию и степени загрязнения подвижных форм ТМ, мг/кг воздушно-сухой почвы в ААБ рН 4,8», содержание подвижных соединений металлов в 1995 г. после загрязнения (Cu – 240,1 мг/кг, Zn – 363,8, Pb – 54,6, Cd – 5,27 мг/кг почвы) соответствовало очень сильному загрязнению почвы медью, цинком и кадмием и сильному – свинцом. За первые пять лет исследований в результате загрязнения, в среднем за год, недополучено 7,5 ц кормовых единиц (КЕ) с 1 га, при HCP₀₅ 3,2 ц КЕ/га. Применение навоза на протяжении данного периода было малоэффективно. Потери урожая составили, в среднем за год, 3,3 ц КЕ/га.

Содержание подвижных соединений меди, цинка, свинца и

использовании NPK+навоз, 90 т/га – 189,5, что на 155 ед. ниже уровня 2003 г. Наименее эффективным было использование системы NPK + навоз, 30 т/га, применение которой привело к снижению Kс только на 99,1 ед.

Изучение последствий загрязнения дерново-карбонатной почвы ТМ показало, что при использовании двойных доз NPK, а также, органоминеральной системы удобрения с дозой навоза 30 т/га, содержание подвижных соединений металлов снижается медленнее, следовательно, уровень загрязнения почвы остается более высоким. Кроме того, в варианте NPK+TM всего за 2003-2007 гг. недополучено 29,3 ц КЕ/с га, агрономическая эффективность внесения 30 т/га навоза на загрязненных делянках составила 91,0 ц КЕ/га; 60 т/га – 131,6 ц КЕ/га; 90 т/га – 143,5 ц КЕ/га.

Оценка степени токсичности соединений ТМ в дерново-карбонатной почве представлена в таблице 2. В контрольном варианте установлены следующие значения определяемых по-

казателей: энергия прорастания семян (ЭП) – 31% (вытяжка 2003 г.) и 35% (вытяжка 2005 г.); всхожесть (В) – 76 и 79%; масса 100 проростков (M_{100}) – 6,1 и 5,8 г; длина проростков – 55,5 и 68,7 мм соответственно. Данные значения при проведении оценки токсичности соединений ТМ были приняты за 100 %. Все показатели приведены в процентах по отношению к контрольному варианту. Токсичность почвы варианта НРК+ТМ, отобранной в 2003 г., оценена как очень слабая по таким показателям, как энергия прорастания и всхожесть. В то же время, по длине и массе проростков исследуемая почва имела высокую степень токсичности. Почва вышеуказанного варианта, образцы которой отобраны в 2005 г., не проявляла токсичных свойств согласно параметрам энергии прорастания, массе и длине проростков.

Применение систем удобрения с двойными дозами НРК, при использовании образцов почвы 2003 г., способствовало высокой степени токсичности, о чем свидетельствовали показатели биомассы и длины проростков. Использование образцов почвы, отобранных в 2005 г., при исследовании длины проростков выявило среднюю степень токсичности. Таким образом, систематическое применение органоминеральных систем с различными дозами навоза показало, что почва, в которую вносили навоз в дозе 30 т/га, сохраняла токсичность. Со временем она возрастала. Токсичность почвы, в которую вносили навоз в дозе 60 т/га, изменялась с высокой до слабой. Почва, в которую вносили навоз в дозе 90 т/га, не обладала токсичными свойствами на начальном этапе исследований. Однако, исследование длины проростков в динамике выявило присутствие слабой степени токсичности почвы данного варианта.

Значения коэффициентов корреляции представлены в таблице 3.

Такие параметры, как энергия прорастания и всхожесть менее информативны, потому что на начальных этапах прорастания и поглощения раствора семенами влияние исследуемых факторов на основные физиологические и биохимические процессы менее интенсивно, чем в период быстрого роста. На это указывает слабое взаимодействие между изучаемыми параметрами. Коэффициенты корреляции, рассчитанные с использованием значений массы и длины проростков и содержания подвижных соединений меди, цинка, кадмия в почве и суммарного показателя загрязнения, показали, что между данными критериями существует отрицательная взаимосвязь средней степени.

3. Коэффициенты корреляции загрязнения почвы с параметрами биотеста

Показатель	Cu	Zn	Pb	Cd	Zc
ЭП	-0,43	-0,33	-0,37	-0,31	-0,39
Всхожесть семян	0,06	0,14	0,29	0,34	0,16
M_{100}	-0,63	-0,50	-0,39	-0,53	-0,57
Длина проростков	-0,62	-0,55	-0,42	-0,50	-0,58

Заключение. При производстве сельскохозяйственной продукции вблизи крупных источников загрязнения тяжелыми металлами, обязательным приемом является научно обоснованное применение удобрений.

Использование суммарного показателя загрязнения (Zc) позволило выявить наиболее эффективную систему удобрения для снижения содержания подвижных соединений металлов в почве: НРК + навоз, 90 т/га. Однако, в ходе биотестирования в динамике установлена слабая токсичность соединений ТМ. Внесение НРК + навоз, 60 т/га способствовало уменьшению суммарного показателя загрязнения, при этом токсичность соединений ТМ снижалась. Применение органоминеральной системы удобрения с дозой навоза 30 т/га оказалось наименее эффективным, токсичность соединений ТМ при этом в динамике возрастала.

Метод биотестирования техногенно загрязненной ТМ дерново-карбонатной почвы можно применять для проведения экологической экспертизы, прогнозирования последствий при использовании различных систем удобрения на почвах с высоким валовым содержанием ТМ, так как он достаточно простой, незатратный и способен дать реальную оценку состояния почв.

Литература

1. Орлов Д.С. Химия почв. - М.: Изд-во МГУ, 1992. – 376 с.
2. Карпова Е.А. Влияние длительного применения минеральных удобрений на состояние железа и тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение. - 2006. - № 9. – С. 1059-1067.
3. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
4. Кауричев И.С., Карпухин А.И., Яшин И.М. Системное исследование комплексных соединений органических веществ почв // Тез. IV съезда Докучаевского общ-ва почвовед. Т. 2. – Новосибирск. – 2004. – 54 с.
5. Степанова М.Д. Микроэлементы в органическом веществе почв. - Новосибирск: Наука, 1976.
6. Методические указания по проведению анализов почв. – С-Пб. – Пушкин. – 1995. – С. 48.
7. ГОСТ 12038-84. Семена с.-х. культур. Методы определения всхожести.

COMPARATIVE CHARACTERIZATION OF THE SEEDLINGS METHOD FOR ASSESSING THE CHEMICAL CONTAMINATION OF CALCAREOUS SOILS WITH HEAVY METALS IN PSKOV OBLAST

T.V. Shaykova, E.S. Volkova

Pskov Research Institute of Agriculture, Russian Academy of Agricultural Sciences

ul. Mira 1, Rodina, Pskov raion, Pskov oblast, 180559 Russia

E-mail: echepurkina@gmail.com, pniish@ellink.ru

Changes in the contents of mobile heavy metals (copper, zinc, lead, and cadmium) in the calcareous soil among the years have been revealed. The comparative estimation of the pollution consequences has been performed with the use of atomic-absorption analysis and biotesting.

Keywords: fertilizing system, soddy-calcareous soil, heavy metals, atomic-absorption analysis, seedlings method, physiological processes.