

**АККУМУЛЯЦИЯ КАДМИЯ В ПОЧВЕ И РАСТЕНИЯХ СОИ ПОД ВЛИЯНИЕМ  
МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

Y.I. Slabko, A.A. Lopatina

**CADMIUM ACCUMULATION IN SOIL AND PLANTS OF SOYBEAN UNDER  
THE INFLUENCE OF MINERAL FERTILIZERS**

Тяжёлые металлы (ТМ) в избыточном количестве являются загрязнителями биосферы. В агроэкосистемах их опасные проявления зависят как от техногенной нагрузки, так и от интенсивности применения чужеродных химических материалов, вносимых с удобрениями и другими агрохимикатами, влияние которых обусловлено наличием поллютантов в составе примесей, а также косвенным влиянием на физико-химические почвенные процессы. Целью наших исследований являлось установить в микрополевым опыте на лугово-бурой оподзоленной почве влияние разных доз валовых и подвижных форм кадмия в искусственно загрязненной почве на содержание его в растениях, а также возможность снижения поступления кадмия в урожай сои при повышенных концентрациях в почве на фоне минеральных удобрений и без них. Опыт заложен в 2014 году на территории опытных полей ФГБНУ «Приморский НИИСХ». Схема опыта предусматривает 7 вариантов. Для искусственного загрязнения почвы использовали соль х.ч. кадмия в дозах, превышающих вдвое и вчетверо максимальные значения предельно допустимых концентраций (ПДК) для почвы. Кадмий в почве, зерне и соломе сои определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии в пламени ацетилен-воздух на спектрометре АА-6200 согласно утвержденным методическим указаниям. Для определения в почве подвижных форм кадмия использовали 1 М раствор азотной кислоты. В результате исследований выявлено, что в вариантах с внесением солей кадмия урожайность сои была снижена по отношению к вариантам без внесения солей на фоне минеральных удобрений. Выявлено, что на фоне удвоенной дозы удобрений и четырехкратной дозы кадмия концентрация валовой формы в почве составила 12,36, а подвижной –

13,90 мг/кг, что соответствует увеличенной дозе внесения, однако концентрация кадмия в этом варианте снижается по сравнению с вариантом с такой же дозой кадмия, но без внесения удобрений. Следовательно, удобрения могут влиять на понижение концентрации кадмия в почве. В вариантах с внесением в почву кадмием на фоне минеральных удобрений концентрация кадмия в растениях была выше, чем в вариантах с внесением кадмием, но без минеральных удобрений, и составила для соломы 0,49–0,78 и зерна 0,28–0,50 мг/кг в первом случае, и 0,95–1,55 для соломы и 0,95–1,69 для зерна во втором случае. Следовательно, удобрения могут способствовать понижению концентрации кадмия в почве, но сделать его более доступным для растений, вследствие чего увеличивается накопление кадмия в растениях сои.

**Ключевые слова:** подвижность, кадмий, токсикант, качество урожая, минеральные удобрения.

Heavy metals (HM) in excess are the pollutants of the biosphere. Their presence in agroecosystems and their dangerous symptoms depend both upon technogenic load and intensity of use of alien chemicals applied with fertilizers and other agrochemicals, which influence is due to the presence of pollutants in the composition of impurities, as well as an indirect effect upon physical and chemical soil processes. The aim of our research was to find out the effect of different doses of total and mobile forms of cadmium in artificially contaminated soil upon its content in plants in the micro field experiment on the meadow brown ashy soil, as well as the possibility to reduce cadmium intake into soybean harvest at high concentrations in the soil on the background of mineral fertilizers and without them. It was defined that fertilizers contributed to decrease concentration of cadmium in soil,

and made it more accessible to plants, thus increasing the accumulation of cadmium in soybean plants. The experiment began on the territory of experimental fields of Research institute of agriculture "Primorsky" in 2014. The experimental scheme provided 7 variants. For artificial soil contamination the authors used salt chemical pure cadmium in doses exceeding twice and four times maximum value of the maximum permissible concentration (MPC) for the soil. Cadmium in soil, in soybean grain and straw was defined by atomic absorption spectrometry in the air-acetylene flame on spectrometer AA-6200 according to the approved methodic instructions. To define cadmium mobile forms the solution of 1 M nitric acid was used. As a result of the study there was found out that soybean yield was reduced in the variants with the introduction of cadmium salts in comparison with the variants without salt application on the background of mineral fertilizers. It was revealed that on the background of the double dose of fertilizer and a quadruple dose of cadmium, the concentration of the gross form in the soil was 12.36 mg / kg, and mobile was 13.90 mg / kg, which corresponds to an increased dose of application, however, the concentration of cadmium in this variant was reduced in comparison with the variant with the same dose of cadmium, but without fertilization. Consequently, fertilizer can decrease cadmium concentration in soil. In the variants with application of cadmium into the soil in the background of fertilizer, cadmium concentration in plants was higher than in variants with cadmium application, but without fertilizer and it was for the straw 0.49–0.78 mg / kg, for grain 0.28–0.50 mg / kg in the first case and 0.95–1.55 mg / kg for straw and grain it was 0.95–1.69 for the second case. It was defined that fertilizers contributed to the decrease of cadmium concentration in soil, and made it more accessible to plants, thus increasing the accumulation of cadmium in soybean plants.

**Keywords:** mobility, cadmium, toxicant, yield quality, mineral fertilizers.

**Введение.** Наличие в агроэкосистемах тяжелых металлов (ТМ) и их токсичные проявления зависят как от техногенных факторов, так и от использования в земледелии различных удобрений [1]. Их влияние обусловлено как наличием металлов в составе применяемых

материалов, так и косвенным влиянием на динамику почвенных процессов. Так, по данным Р.Р. Кинжаева [2], при внесении удобрений возрастает подвижность ТМ, что способно отразиться на качестве продукции [4, 5]. Мобилизация в почве подвижных форм особо опасных ТМ и концентрация их в урожае сельскохозяйственных культурных растений нуждаются в уточнении в зависимости от норм удобрений, применяемых под культуры в соответствующих экологических условиях.

**Цель исследований.** Установить влияние разного содержания валовых и подвижных форм кадмия в почве на содержание в урожае сои, которая занимает ведущее место в полевом земледелии Приморья и перспективна с позиции использования урожая в качестве сырья для производства разнообразных белковых продуктов питания и кормовых смесей.

**Задача исследований.** Обнаружить связь наличия кадмия в органах растений и в конечной продукции в зависимости от концентрации форм токсиканта в почве.

**Условия, материалы и методы.** Исследования проводятся на опытном поле ФБГНУ «Приморский НИИСХ». Почва типичная луговая бурая оподзоленная, занимающая большую часть равнинной территории пахотных земель Приморского края и используемая в полевом земледелии преимущественно для размещения зерно-соевых севооборотов. Агрохимическая характеристика перегнойно-аккумулятивного горизонта мощностью 25 см: гумус –  $2,8 \pm 0,06$  %;  $pH_{KCl}$  –  $6,02 \pm 0,08$ ;  $P_2O_5$  –  $63 \pm 4$  мг/кг;  $K_2O$  –  $135 \pm 22$  мг/кг. Фоновое содержание Cd: валовый 0,5 мг/кг и подвижный 0,3 мг/кг почвы.

Микроделяночный полевой опыт заложен в 2014 году. Схема опыта (представлена на рисунках и в таблице 2) предусматривает варианты с разными дозами внесения солей кадмия и минеральных удобрений. Расположение варианта блочное, повторность 4-кратная, деланки каждого варианта смежные, Площадь деланки – 4 м<sup>2</sup>. Боковые и концевые защитки – по одному ряду. Способ посева строчный широкорядный с междурядьями 60 см.

Удобрения – суперфосфат гранулированный и калий хлористый в дозах  $P_{120}K_{60}$ (PK1),  $P_{240}K_{120}$ (PK2) внесены в один прием до посева сои под предпосевное рыхление. Водный рас-

твор CdSO<sub>4</sub> в дозах по д.в., превышающих вдвое (доза 1) и вчетверо (доза 2) максимальные значения кадмия в почве, установленные на основе базовых значений валовых форм металла [3], внесен до посева под ручное рыхление поверхности. Доза 1 составила 6 мг/кг, что соответствует 2 ПДК. В опыте использованы откалиброванные семена сои сорта Приморская 81.

Растительные образцы для химического анализа из 20 растений с каждой делянки после биометрических измерений размалывались до состояния муки и просеивались через сито 0,2 см. Смешанные почвенные образцы отбирали по всем вариантам после уборки сои и анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА 6200 согласно методическим указаниям

[6]. При анализе растительных образцов использованы методы, изложенные в ГОСТ [7, 8].

Для экстракции валовой и подвижной форм кадмия использовали соответственно 5 М и 1 М HNO<sub>3</sub>.

**Результаты и их обсуждение.** Так, внесённые в почву соли кадмия способствовали снижению урожайности сои. В вариантах без внесения кадмия отмечено повышение урожайности на фоне удвоенной дозы удобрений (табл. 1).

Внесенный кадмий закрепился в почве, и разница между вариантами по дозам хорошо прослеживается даже после отчуждения части его с урожаем. Удобрения слабо влияли на его содержание в почве.

Результаты определения содержания форм кадмия в почве представлены на рисунке 1.

Таблица 1

Урожайность сои

Номер п/п	Вариант	Урожайность, ц/г
1	Контроль	27,8
2	PK1	27,8
3	PK1+ Cd1	26,1
4	PK2	33,1
5	PK2+Cd2	25,1
6	Cd1	27,6
7	Cd2	24,1
8	<b>НСР (0,95)</b>	<b>0,87</b>

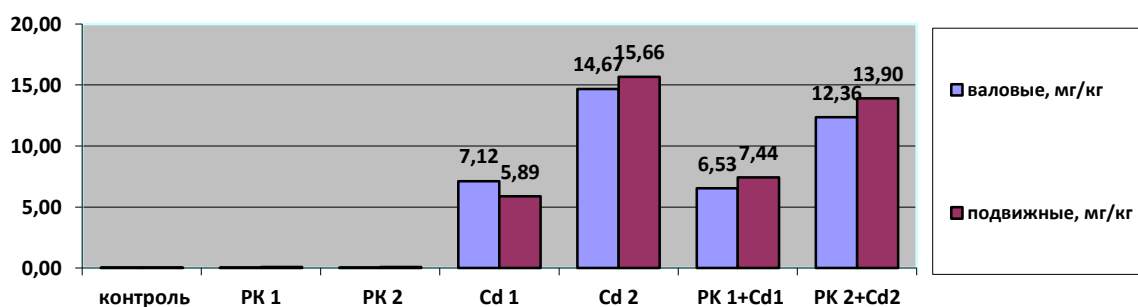


Рис.1. Содержание валовых и подвижных форм кадмия в почве после уборки урожая

Так, в контрольных вариантах (абсолютный контроль и PK1, PK2) как валовые, так и подвижные формы были на уровне фонового значения. В вариантах с внесенным в почву кадмием в дозе 1 содержание валовых и подвижных форм незначительно изменилось на фоне минеральных удобрений. При удвоенных дозах

удобрений в варианте PK2+Cd2 обнаружилась тенденция к снижению концентрации кадмия по отношению к варианту Cd2 на 2,3 мг/кг валовой и на 1,76 мг/кг подвижной форм. Следовательно, высокие дозы удобрения могут способствовать понижению концентрации кадмия в почве,

что, вероятно, связано с выносом его в дополнительном урожае.

Для установления величин накопления кадмия в растениях были проведены анализы зерна и соломы при использовании методов [7, 8] (рис. 2, табл. 1).

Установлено, что кадмий присутствует как в зерне, так и в соломе, в том числе и там, где он не был внесен. Концентрация его в этих вариантах соответствует уровню фоновых значений, хотя в вариантах с удобрениями обнаруживается тенденция к увеличению (табл. 2).

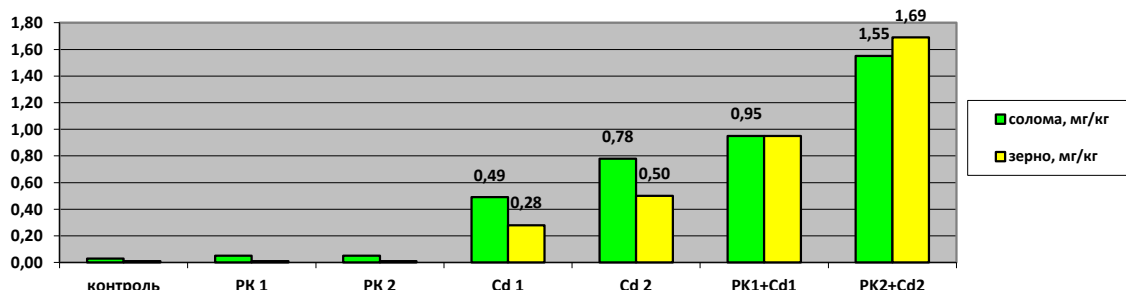


Рис. 2. Накопление кадмия в зерне и соломе сои

Таблица 2

**Концентрация кадмия в органах растения и конечной продукции**

Вариант	Концентрация кадмия, мг/кг ± ско	
	Солома	Зерно
1. Контроль	0,03±0,01	0,01±0,00
2. РК1	0,05±0,01	0,01±0,00
3. РК2	0,05±0,01	0,01±0,00
4. Cd1	0,49±0,01	0,28±0,01
5. Cd2	0,78±0,01	0,50±0,01
6. РК1+Cd1	0,95±0,01	0,95±0,01
7. РК2+Cd2	1,55±0,01	1,69±0,01

Так, накопление кадмия в соломе в вариантах с внесением удобрений (РК1+Cd1, РК2+Cd2) было выше. В вариантах с внесенным в почву кадмием без удобрений концентрация в зерне была значительно меньше, чем в соломе, и прямо соответствовала дозам. Удобрения способствовали накоплению токсиканта в растении, причем темпы накопления кадмия в зерне по отношению к соломе возрастали соответственно их дозам.

Высокая доза кадмия на повышенном фоне удобрений (РК2+Cd2) повлияла на его содержание в зерне по отношению к соломе, что свидетельствует о прямой зависимости качества урожая от концентрации токсиканта в почвенном растворе.

**Выводы**

1. Между содержанием кадмия в почве и наличием его в урожае существует прямая зависимость. Удобрения могут снижать концентрацию токсиканта в почве в связи с повышением содержания в растениях.

2. Удобрения способствуют росту поступления кадмия в растения. При этом растет доля токсиканта в урожае основной продукции по отношению к побочной.

3. Вносимые в почву соли кадмия стимулируют переход в растворенное состояние валовых почвенных запасов, в результате чего количество подвижного кадмия оказывается равным или незначительно превалирует над показателями содержания валовых форм.

## Литература

1. Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексехин, А.В. Голубев [и др.]; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
2. Кинжаев Р.Р., Гомова Н.Ф., Карпова Е.А. Последствие агрохимических средств на подвижность тяжёлых металлов в почве и накопление их растениями // Плодородие. – 2004. – № 2. – С. 38–40.
3. Синельников Э.П., Слабко Ю.И. Агрогенезис почв Приморья. – М.: ВНИИА, 2005. – 280 с.
4. Черных Н.А., Милащенко Н.З., Ладонин В.Ф. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 5. Экоотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжёлыми металлами. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001. – 148 с.
5. Черных Н.А., Черных И.Н. О качестве растениеводческой продукции при разных уровнях загрязнённости почв тяжёлыми металлами // Агрохимия. – 1995. – № 5. – С. 97–101.
6. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Фесюн, С.Г. Самохвалов [и др.]. – М., 1992. – 31с.
7. ГОСТ 30692-2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. – Введ. 01.01.02. – М.: Изд-во станд., 2000. – 10 с.
8. ГОСТ 30178-96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. – Введ. 01.01.98. – М.: Изд-во станд., 1996. – 11 с.

## Literatura

1. Agroehkologiya / V.A. Chernikov, R.M. Aleksakhin, A.V. Golubev [i dr.]; pod red. V.A. Chernikova, A.I. Chekeresa. – M.: Kolos, 2000. – 536 s.
2. Kinzhaev R.R., Gomova N.F., Karpova E.A. Posledejstvie agrokhimicheskikh sredstv na podvizhnost' tyazhyolykh metallov v pochve i nakoplenie ikh rasteniyami // Plodorodie. – 2004. – № 2. – S. 38–40.
3. Sinel'nikov Eh.P., Slabko Yu.I. Agrogenezis pochv Primor'ya. – M.: VNIIA, 2005. – 280 s.
4. Chernykh N.A., Milashhenko N.Z., Ladonin V.F. Ehkologicheskaya bezopasnost' i ustojchivoe razvitie. Kn. 5. Ehkotoksikologicheskie aspekty zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami. – Pushhino: ONTI PNTS RAN, 2001. – 148 s.
5. Chernykh N.A., Chernykh I.N. O kachestve rastenievodcheskoj produktsii pri raznykh urovnyakh zagryaznyonnosti pochv tyazhyolyymi metallami // Agrokhiimiya. – 1995. – № 5. – S. 97–101.
6. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhyolykh metallov v pochvakh sel'khozugodij i produktsii rastenievodstva / A.V. Kuznetsov, A.P. Fesyun, S.G. Samokhvalov [i dr.]. – M., 1992. – 31s.
7. GOST 30692-2000. Korma, kombikorma, kombikormovoe syr'e. Atomno-absorbtsionnyj metod opredeleniya soderzhaniya medi, svintsa, tsinka i kadmiya. – Vved. 01.01.02. – M.: lzd-vo stand., 2000. – 10 s.
8. GOST 30178-96. Syr'e i produkty pishhevye. Atomno-absorbtsionnyj metod opredeleniya toksichnykh ehlementov. – Vved. 01.01.98. – M.: lzd-vo stand., 1996. – 11 s.

УДК 630\*524.1; 630\*524.15; 630\*181.64

А.А. Горошко

ОЦЕНКА ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ  
В НАСАЖДЕНИЯХ

А.А. Goroshko

## CROSS-SECTIONAL SHAPE EVALUATION OF INDIVIDUAL TREES IN STANDS

Для определения объема растущего дерева, а значит и запаса насаждения, необходимо знать следующие показатели: высота, диаметр на высоте груди и форма ствола. По

диаметру на высоте груди определяют площадь поперечного сечения и далее рассчитывают объем ствола. Поперечные сечения стволов деревьев по форме напоминают круги