

## ВЛИЯНИЕ ВИДА СЕВООБОРОТА НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НА СКЛОНАХ

*Д.В. Дубовик, д.с.-х.н., Е.В. Дубовик, к.с.-х.н., ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии*

Исследовано в трех ротациях зернопаропропашного, зернотравянопропашного и зернотравяного севооборотов изменение содержания тяжелых металлов в почве на склонах северной и южной экспозиций, а также на водораздельном плато. Установлено, что на склоне северной экспозиции зернотравяной севооборот способствует накоплению марганца, цинка, меди и кобальта, ведет к снижению количества свинца и никеля. На водораздельном плато и склоне южной экспозиции накопление марганца, цинка и меди происходит в основном в зернопаропропашном севообороте, а кобальта в зернотравяном.

**Ключевые слова:** севооборот, экспозиция склона, тяжелые металлы, марганец, цинк, медь, кобальт, никель, свинец.

В единой системе регулирования почвенного плодородия агроландшафта, в том числе и по микроэлементному составу, важное место занимает севооборот. Чередование культур в севообороте способствует организации и управлению природных и антропогенных потоков вещества и энергии [6]. Возделываемые в севооборотах сельскохозяйственные растения играют большую роль в биогеохимическом круговороте микроэлементов [1]. Они могут накапливать микроэлементы, особенно тяжелые металлы, в тканях и служить их резервуаром. Растения обладают способностью контролировать поступление или удаление некоторых элементов посредством физиологических процессов [13]. Различные виды растений неодинаково потребляют те или иные элементы из почвы. Поэтому вид севооборота способен оказывать существенное влияние на содержание в почве определенных микроэлементов, как необходимых для жизнедеятельности растений, так и представляющих

экологическую опасность. Это особенно актуально для условий расчлененного рельефа с проявлением водно-эрозионных процессов, где широко рекомендованы почвозащитные севообороты [3].

**Методика.** Основные исследования проводили в многофакторном полевом опыте в течение трех ротаций севооборотов. Изучали следующие типы севооборотов: зернопаропропашной (1-черный пар; 2-озимая пшеница; 3-кукуруза; 4-ячмень); зернотравянопропашной (1-многолетние бобовые травы; 2-озимая пшеница; 3-кукуруза; 4-ячмень + травы); зернотравяной (1-многолетние бобовые травы 1-го г.п.; 2-многолетние бобовые травы 2-го г.п.; 3-озимая пшеница; 4-ячмень + травы).

Почва – чернозем типичный среднесуглинистый. В отобранных образцах почвы определяли содержание подвижных соединений тяжелых металлов: Mn и Zn – в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ), pH 4,8, Cu, Co, Ni, Pb – из вытяжки 1 М HCl, соотношение почва : раствор 1:10 [4]. Все определения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС-30.

**Результаты и их обсуждение.** *Марганец.* В среднем за три ротации севооборотов содержание подвижного марганца в почве на склоне северной экспозиции было самым высоким в зернотравяном севообороте, а наименьшим – в зернопаропропашном севообороте. Разница между ними составила 6,4 мг/кг (табл.). Зернотравянопропашной севооборот по уровню накопления подвижного марганца в почве уступал зернотравяному (на 4,1 мг/кг), но превосходил зернопаропропашной на 2,3 мг/кг.

Содержание тяжелых металлов в зависимости от севооборота и элемента рельефа

Элемент рельефа	Способ обработки	Содержание тяжелых металлов, мг/кг					
		Mn	Zn	Cu	Co	Ni	Pb
Северный склон	Зернопаропропашной	26,6	0,28	4,54	3,79	9,00	6,87
	Зернотравянопропашной	28,9	0,26	4,44	3,91	6,50	7,08
	Зернотравяной	33,0	0,28	4,84	3,85	9,08	6,76
Водораздельное плато	Зернопаропропашной	30,3	0,31	4,71	4,14	8,06	8,89
	Зернотравянопропашной	25,0	0,21	4,26	4,19	5,98	7,46
	Зернотравяной	24,6	0,28	4,48	4,32	8,02	6,88
Южный склон	Зернопаропропашной	18,6	0,18	4,24	4,43	6,40	7,29
	Зернотравянопропашной	16,7	0,16	3,49	4,54	5,15	7,70
	Зернотравяной	16,6	0,18	3,54	4,43	5,26	6,74
НСР <sub>05</sub> :	рельеф	7,1	0,05	0,57	0,15	1,47	1,34
	севооборот	7,3	0,05	0,58	0,14	1,48	1,25

На водораздельном плато существенной разницы в содержании подвижного марганца в почве в зернотравяном и зернотравянопропашном севооборотах не отмечено. В зернопаропропашном севообороте происходит увеличение содержания марганца по сравнению с другими севооборотами на 5,3-5,7 мг/кг.

На склоне южной экспозиции, как и на водоразделе, зернотравяной и зернотравянопропашной севообороты равнозначны по уровню содержания подвижного марганца в почве. В почве зернопаропропашного севооборота количество марганца превышает их всего на 1,9-2,0 мг/кг.

По изучаемым элементам рельефа изменение содержания подвижного марганца в почве в зависимости от типа севооборота имело следующие особенности. В зернопаропропашном севообороте наибольшее содержание подвижного марганца

отмечено на водораздельном плато. На северном склоне количество этого элемента снижается на 3,7 мг/кг, а на южном – на 11,7 мг/кг по сравнению с плакором. В зернотравянопропашном севообороте снижение количества марганца в почве происходит от северного склона (с максимальным в этом севообороте содержанием) к водораздельному плато (на 3,9 мг/кг) и дальше к южному склону (на 13,2 мг/кг). Такая же тенденция и в зернотравяном севообороте. Здесь максимум содержания подвижного марганца зафиксирован на северном склоне. При переходе на водораздельное плато наблюдается снижение количества марганца в почве под этим севооборотом на 8,4 мг/кг, а на южном склоне идет дальнейшее уменьшение на 16,4 мг/кг.

На склоне южной экспозиции во всех типах севооборотов в почве отмечено наименьшее содержание подвижного мар-

ганца, что обусловлено щелочной реакцией почвенного раствора [10] и более низким содержанием гумуса.

На склоне северной экспозиции наибольшему накоплению марганца в почве способствует зернотравяной севооборот. В этом севообороте, насыщенном на 50% многолетними бобовыми травами, создаются условия для накопления органического вещества, фиксирующего марганец.

**Цинк.** В среднем за три ротации севооборотов содержание подвижного цинка в почве на склоне северной экспозиции практически не зависело от типа севооборота (табл.). Можно лишь отметить тенденцию к снижению его количества в зернотравянопропашном севообороте, что очевидно обусловлено большим выносом цинка культурами севооборота, особенно сахарной свеклой.

На водораздельном плато также отмечается снижение содержания подвижного цинка в зернотравянопропашном севообороте на 0,10 мг/кг по сравнению с зернопаропропашным и на 0,07 мг/кг - с зернотравяным севооборотами.

На склоне южной экспозиции существенных изменений в количестве подвижного цинка между севооборотами не было, можно лишь отметить тенденцию к снижению его в зернотравянопропашном севообороте.

По элементам рельефа на склоне южной экспозиции установлено наименьшее содержание подвижного цинка во всех изучаемых севооборотах в среднем на 0,10 мг/кг. Северный склон и водораздел по содержанию подвижного цинка в почве существенно не различались.

Можно отметить, что в зернотравянопропашном севообороте складываются условия, способствующие выносу подвижного цинка из почвы. Цинк является биогенным элементом, активно поглощающимся растениями из почвы, а в зернотравянопропашном севообороте образуется наибольшее количество биомассы, что приводит к уменьшению содержания цинка в почве [9]. Слабощелочная реакция почвенного раствора и наименьшее содержание гумуса в почве южного склона обусловили наименьшее содержание подвижного цинка в почве во всех изучаемых севооборотах.

**Медь.** Содержание подвижной меди в почве в среднем за три ротации севооборотов на склоне северной экспозиции было наиболее высоким в зернотравяном севообороте. Здесь количество меди на 0,30 мг/кг выше, чем в зернопаропропашном и на 0,40 мг/кг, чем в зернотравяном севооборотах (табл.). Наименьшее содержание подвижной меди в зернотравянопропашном севообороте.

На водораздельном плато более высокое количество подвижной меди в почве установлено в зернопаропропашном севообороте - на 0,45 и 0,23 мг/кг выше, чем в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах соответственно. Самое низкое содержание меди в почве в зернотравянопропашном севообороте.

На южном склоне те же закономерности, что и на водораздельном плато. Содержание подвижной меди в почве зернопаропропашного севооборота выше на 0,75 мг/кг, чем в зернотравянопропашном севообороте и на 0,70 мг/кг, чем в зернотравяном севообороте.

По элементам рельефа в зернопаропропашном севообороте отмечается снижение содержания подвижной меди на полярных склонах по отношению к водоразделу на 0,17 мг/кг на северном, и на 0,47 мг/кг на южном. В зернотравянопропашном севообороте содержание меди в почве снижается от северного склона к водоразделу и южному склону на 0,18-0,95 мг/кг. Та же тенденция и в зернотравяном севообороте. Количество подвижной меди снижается от северного склона к южному на 0,36-1,30 мг/кг. Это связано, очевидно, с резким изменением pH почвенного раствора при переходе от северного склона со слабокислой реакцией к водораздельному плато с нейтральным pH и южному склону - со слабощелочной реакцией, поскольку медь обладает большей подвижностью в кислых условиях [11].

Наименьшее содержание меди в зернотравянопропашном севообороте по всем элементам рельефа, что обусловлено, вероятно, вышеуказанными причинами. На склоне южной

экспозиции щелочная реакция почвенного раствора способствовала снижению подвижности меди в почве.

**Кобальт.** Изучение содержания подвижного кобальта в почве в различных типах севооборотов позволило установить следующие закономерности. На склоне северной экспозиции наибольшее количество кобальта накапливалось в зернотравянопропашном и зернотравяном севооборотах (табл.). Это связано, очевидно, с тем, что в состав названных севооборотов входят бобовые травы, которые интенсивнее других культур аккумулируют кобальт [12].

На водораздельном плато происходит постепенное увеличение содержания подвижного кобальта от зернопаропропашного севооборота к зернотравяному на 0,05-0,18 мг/кг.

На южном склоне наибольшее количество кобальта накапливается в почве зернотравянопропашного севооборота, а зернопаропропашной и зернотравяной севообороты по количеству этого элемента в почве равнозначны.

По элементам рельефа прослеживается закономерность увеличения содержания подвижного кобальта от северного склона к водоразделу и далее к южному склону во всех изучаемых севооборотах. Так в зернопаропропашном севообороте количество кобальта в почве увеличивается от северного склона к южному на 0,35-0,64 мг/кг, в зернотравянопропашном - на 0,28-0,63, в зернотравяном - на 0,47-0,58 мг/кг.

Таким образом, наименьшее количество подвижного кобальта характерно для склона северной экспозиции, а наибольшее - южной экспозиции. Это обусловлено способностью кобальта менять свою валентность и растворимость в различных окислительно-восстановительных условиях [2]. Также на южном склоне растет количество поглощенных оснований, с которыми кобальт образует различные соединения [5]. В зернопаропропашном и зернотравяном севооборотах происходит накопление подвижного кобальта в почве на всех элементах рельефа.

**Никель.** Содержание подвижного никеля в почве в среднем за три ротации севооборотов на склоне северной экспозиции в зернопаропропашном и зернотравяном севооборотах существенно не различалось (табл.). В почве зернотравянопропашного севооборота количество никеля меньше на 2,50-2,58 мг/кг в сравнении с другими изучаемыми севооборотами.

На водораздельном плато та же тенденция. Разницы в содержании подвижного никеля в почве зернопаропропашного и зернотравяного севооборотов практически не наблюдалось. Вместе с тем, в зернотравянопропашном севообороте произошло снижение количества никеля в почве на 2,04-2,08 мг/кг.

На склоне южной экспозиции наиболее высокое содержание никеля в почве в зернопаропропашном севообороте. В зернотравяном его количество уменьшалось на 1,14 мг/кг, а в зернотравянопропашном - на 1,25 мг/кг.

По элементам рельефа во всех типах севооборота отмечается снижение содержания подвижного никеля в почве от северного склона к водораздельному плато и далее к южному склону. Никель наиболее подвижен в кислых почвах, поэтому наибольшее содержание его отмечается на северном склоне, где pH почвенного раствора 5,5-5,6, а на южном склоне в условиях слабощелочной реакции (pH 7,2-7,3) его подвижность в почве заметно снижается. В зернотравянопропашном севообороте, независимо от элемента рельефа, наблюдается заметное снижение содержания подвижного никеля в почве по сравнению с другими севооборотами. Очевидно, это связано с тем, что никель быстро и легко поглощается из почвы растениями [7], а как уже было отмечено выше в зернотравянопропашном севообороте формируется наибольшая биомасса.

**Свинец.** В среднем за три ротации севооборотов на склоне северной экспозиции наиболее высокое содержание подвижного свинца в почве было в зернотравянопропашном севообороте. По сравнению с ним в зернопаропропашном севообороте количество свинца снижалось на 0,21 мг/кг, в зернотравяном - на 0,32 мг/кг (табл.).

На водораздельном плато содержание подвижного свинца в почве уменьшалось от зернопаропропашного севооборота к зернотравянопропашному на 1,43 мг/кг и зернотравянному на 2,01 мг/кг.

На склоне южной экспозиции подвижный свинец накапливался в почве зернотравянопропашного севооборота, а наименьшее его количество было в зернотравянном севообороте.

По элементам рельефа в зернопаропропашном севообороте наибольшее количество подвижного свинца в почве на водораздельном плато, а наименьшее - на северном склоне (меньше на 2,02 мг/кг). В зернотравянопропашном севообороте содержание свинца в почве увеличивается от северного склона к водоразделу (на 0,38 мг/кг) и далее к южному склону (на 0,62 мг/кг). В зернотравянном севообороте наиболее высокие показатели свинца на водораздельном плато, а между полярыми склонами существенной разницы не наблюдается.

Следует отметить, что в зернотравянном севообороте на всех элементах рельефа самое низкое количество подвижного свинца в почве. Возможно, это вызвано увеличением в зернотравянном севообороте количества новообразованного органического вещества, которое связывает свинец в труднорастворимые комплексы, снижая его подвижность [8].

**Заключение.** На склоне северной экспозиции насыщение севооборота многолетними бобовыми травами (зернотравяной севооборот) способствует накоплению в почве таких биогенных микроэлементов как марганец, цинк, медь, кобальт, ведет к снижению количества токсичных элементов – свинца и никеля. На водораздельном плато и склоне южной экспозиции накопление марганца, цинка и меди происходит в почве в основном в зернопаропропашном севообороте, а кобальта - в зернотравянном. На этих элементах рельефа зернотравянопропашной севооборот способствует снижению содержания в

почве подвижного никеля и повышению содержания подвижного свинца.

#### Литература

1. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 628 с.
2. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почве и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
3. Листопадов И.Н., Игнатьев Д.С., Гаевая Э.А. Севооборот как средство предотвращения водной эрозии почв // Земледелие. – 2010. – №8. – С. 8-9.
4. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Амелянчик О.А. и др. Практикум по агрохимии. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
5. Панасин В.И., Новикова С.И. Распространение кобальта в почвах Калининградской области // Агрохимический вестник. – 2005. – №5. – С. 6-8.
6. Тиранова Л.В., Тиранов А.Б. Эффективность севооборотов в агроландшафтах Северо-Западного региона // Земледелие. – 2010. – №1. – С. 3-5.
7. Diez Th., Rosopulo A. Schwermetallgehalte in Boden und Pflanzen nach extrem hohen Klarschlammgaben // Sonderdruck Landw. Forsch., 1976, 33. – P. 236.
8. Fleming G.A., Walsh T., Ryan P. Some factors influencing the content and profile distribution of trace elements in Irish soils // in: Proc. 9th Int. Congr. Soil Sci., Vol 2, Adelaide, Australia, 1968. – 341 p.
9. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. — Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – 548 p.
10. Mengel K., Kirkby E.A. Principles of Plant Nutrition. – International Potash, Institute, Worblaufen-Bern, 1978. – 593 p.
11. Sanders J.R., Bloomfield C. The influence of pH, ionic strength and reactant concentrations on copper complexing by humified organic matter. // J. Soil Sci. 1980, 31. – P 53.
12. Shacklette H.T. Elements in fruits, and vegetable from areas of commercial production in the Conterminous United States // U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., 1980, 149. – P. 1178.
13. Tiffin L.O. The form and distribution of metals in plants: an overview // in: Proc. Hanford Life Sciences Symp. U.S. Department of Energy, Symposium Series, Washington, D.C., 1977. – 315 p.

## EFFECT OF CROP ROTATION ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS ON SLOPES

*D.V. Dubovik, E.V. Dubovik*

*All-Russian Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control  
ul. Karla Marksa 70b, Kursk, 305021 Russia,  
E-mail: dubovikdm@yandex.ru*

*In three cycles of grain-fallow-row crop, grain-grass-row crop, and grain-grass crop rotations, changes in the content of heavy metals in soils on slopes of northern and southern exposures and on a watershed plateau were studied. It was found that the grain-grass crop rotation on the slope of northern exposure facilitates the accumulation of manganese, zinc, copper, and cobalt and decreases the contents of lead and nickel. On the watershed plateau and on the slope of southern exposure, the accumulation of manganese, zinc, and copper occurs mainly in the grain-fallow-row crop rotation, and that of cobalt in the grain-grass crop rotation.*

*Keywords: crop rotation, slope exposure, heavy metals, manganese, zinc, copper, cobalt, nickel, lead.*