

УДК 631.879+631.422

ВЛИЯНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ИХ СОЧЕТАНИЙ С ЦЕОЛИТОМ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ И ЗЕРНЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Арефьев А.Н., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Кузина Е.Е., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Кузин Е.Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, aan241075@yandex.ru

Ключевые слова: тяжелые металлы, осадки сточных вод, цеолит, озимая пшеница, кукуруза.

Выявлено влияние мелиоративных норм осадков сточных вод г. Пенза и их сочетаний с природным цеолитом на накопление тяжелых металлов в пахотном горизонте лугово-черноземной почвы и в зерне озимой пшеницы и кукурузы. Установлено, что одностороннее использование осадков сточных вод существенно повышало содержание тяжелых металлов в почве и в зерне изучаемых культур. Однако их содержание как в почве, так и в продукции растениеводства было ниже ПДК. Внесение природного цеолита в комплексе с осадками сточных вод снижает накопление подвижных форм тяжелых металлов в почве и продукции растениеводства.

Одним из ограничивающих факторов широкого применения осадков сточных вод в сельском хозяйстве считается возможное загрязнение почв и растительной продукции содержащимися в них в повышенных концентрациях различными поллютантами, в первую очередь тяжелыми металлами. В то же время по данным отечественных и зарубежных исследований нормированное внесение осадков в почву не представляет химической и экологической опасности для почв и растений [1,2,3,4,5].

Исследования проводились на коллекционном участке Пензенской ГСХА. Для решения поставленной цели был заложен полевой опыт по следующей схеме: 1. Без ОСВ и цеолита (контроль); 2. Цеолит 10 т/га; 3. ОСВ 100 т/га; 4. ОСВ 120 т/га; 5. ОСВ 140 т/га; 6. ОСВ 160 т/га; 7. ОСВ 180 т/га; 8. ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га; 9. ОСВ 120 т/га + цеолит 10 т/га; 10. ОСВ 140 т/га + цеолит 10 т/га; 11. ОСВ 160 т/га + цеолит 10 т/га; 12. ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га.

Повторность опыта трехкратная, варианты в опыте размещены методом рендомизированных повторений, учетная площадь одной де-

лянки 4 м². Объектом исследования являлся зернопаропропашной севооборот. В 2015 году в опыте возделывалась озимая пшеница Безенчукская 380, в 2016 году возделывалась кукуруза на зерно – гибрид Ладожский 175 МВ.

Почвенный покров опытного участка представлен лугово-черноземной выщелоченной малогумусной среднесуглинистой почвой.

В опыте использовались осадки сточных вод г. Пенза, которые характеризуются следующими показателями: величина рН_{сол} – 6,0 ед., гидролитическая кислотность – 2,4 мг-экв./100 г осадков, сумма обменных оснований – 31,6 мг-экв./100 г осадков. Содержание элементов питания: азот – 291, фосфора – 116 и калия – 120 мг-экв./100 г осадков, углерода органического вещества – 21,2 %. В качестве химического мелиоранта в опыте использовалась цеолитовая агроруда Лунинского месторождения. Содержание клиноптилолита в цеолитсодержащей породе составляло 41 %.

Осадки сточных вод и химический мелиорант вносились под основную обработку в паровое поле согласно схеме опыта.

Как свидетельствуют результаты исследований, содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном горизонте лугово-черноземной почвы без использования осадков сточных вод и цеолита было ниже предельно допустимой концентрации в 4,4-16,6 раза (таблица 1).

Внесение в почву природного цеолита нормой 10 т/га снижало содержание подвижного цинка по отношению к контролю в 2015 году на 26,5 %, подвижной меди – на 38,8 %, подвижного никеля – на 38,1 %, подвижного кадмия – на 44,4 %. Содержание цинка в пахотном горизонте составляло 3,88 мг/кг почвы, меди – 0,12, свинца – 0,60, никеля – 0,52, кадмия – 0,05 мг/кг почвы.

После уборки кукурузы в 2016 году содержание цинка на фоне одностороннего действия цеолита равнялось 3,04 мг/кг почвы, меди – 0,07, свинца – 0,58, никеля – 0,47, кадмия – 0,04 мг/кг почвы. Содержание подвижных форм тяжелых металлов было ниже контроля на 40,8-58,8 %.

Внесение осадков сточных вод без химического мелиоранта и в комплексе с природным цеолитом повышало содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном горизонте лугово-черноземной почвы. При одностороннем действии осадков сточных вод, в зависимости от их нормы, содержание цинка в посевах озимой пшеницы (2015 г.) составляло 10,84 (ОСВ 100 т/га) – 19,01 мг/кг почвы (ОСВ 180 т/га), меди – 0,79-1,49 мг/кг почвы, свинца – 2,22-4,11 мг/кг почвы,

никеля – 1,72-3,20 мг/кг почвы, кадмия – 0,46-0,84 мг/кг почвы. Содержание подвижных форм тяжелых металлов при одностороннем действии осадков сточных вод превышало контроль по цинку в 2,1 (ОСВ 100 т/га) – 3,6 раза (ОСВ 180 т/га), по меди – в 4,4-8,3 раза, по свинцу – в 2,3-4,2 раза, по никелю – в 2,0-3,8 раза, по кадмию – в 5,1-9,3 раза.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Вариант	Наименование тяжелых металлов				
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
2015 г.					
1. Без ОСВ и цеолита (контроль)	5,28	0,18	0,98	0,84	0,09
2. Цеолит 10 т/га	3,88	0,12	0,60	0,52	0,05
3. ОСВ 100 т/га	10,84	0,79	2,22	1,72	0,46
4. ОСВ 120 т/га	12,90	0,96	2,68	2,07	0,55
5. ОСВ 140 т/га	14,87	1,14	3,14	2,44	0,64
6. ОСВ 160 т/га	16,93	1,29	3,58	2,81	0,73
7. ОСВ 180 т/га	19,01	1,49	4,11	3,20	0,84
8. ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га	7,80	0,60	1,62	1,30	0,41
9. ОСВ 120 т/га + цеолит 10 т/га	9,89	0,78	2,09	1,89	0,49
10. ОСВ 140 т/га + цеолит 10 т/га	11,90	0,94	2,42	2,20	0,50
11. ОСВ 160 т/га + цеолит 10 т/га	13,88	1,13	3,00	2,58	0,58
12. ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га	15,04	1,32	3,54	2,79	0,69
2016 г.					
1. Без ОСВ и цеолита (контроль)	5,26	0,17	0,98	0,82	0,08
2. Цеолит 10 т/га	3,04	0,07	0,58	0,47	0,04
3. ОСВ 100 т/га	10,14	0,76	2,20	1,70	0,43
4. ОСВ 120 т/га	12,20	0,92	2,66	2,04	0,51
5. ОСВ 140 т/га	14,17	1,10	3,11	2,39	0,62
6. ОСВ 160 т/га	16,28	1,26	3,55	2,77	0,70
7. ОСВ 180 т/га	18,41	1,45	3,96	3,16	0,82
8. ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га	6,20	0,50	1,60	1,06	0,39
9. ОСВ 120 т/га + цеолит 10 т/га	8,13	0,71	2,05	1,40	0,46
10. ОСВ 140 т/га + цеолит 10 т/га	10,10	0,90	2,50	1,82	0,55
11. ОСВ 160 т/га + цеолит 10 т/га	12,12	1,05	3,00	2,16	0,62
12. ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га	14,00	1,23	3,27	2,49	0,75
ПДК	23,00	3,00	6,00	4,00	1,00

Внесение осадков сточных вод в комплексе с природным цеолитом повышает содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве. Однако концентрация подвижных форм тяжелых металлов при комплексном использовании осадков сточных вод и цеолита была ниже, чем на анало-

гичных вариантах, где осадок вносился в почву без химического мелиоранта. Содержание подвижного цинка при комплексном внесении осадков сточных вод и цеолита составляло, в зависимости от нормы осадка, 7,80 (ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га) – 15,04 мг/кг почвы (ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га), меди – 0,60-1,32, свинца – 1,62-3,54, никеля – 1,30-2,79, кадмия – 0,41-0,69 мг/кг почвы.

После уборки кукурузы в 2016 году содержание подвижного цинка на фоне одностороннего действия осадков сточных вод варьировало, в зависимости от нормы осадка, от 10,14 (ОСВ 100 т/га) до 18,41 мг/кг почвы (ОСВ 180 т/га), меди – от 0,76 до 1,45, свинца – от 2,20 до 3,96, никеля – от 1,70 до 3,16, кадмия – от 0,43 до 0,82 мг/кг почвы. Концентрация подвижных форм тяжелых металлов превышала контроль по цинку в 1,9-3,5 раза, по меди – в 4,5-8,5 раза, по свинцу – в 2,2-4,0 раза, по никелю – в 2,1-3,4 раза, по кадмию – в 5,4-8,6 раза.

Природный цеолит существенно снижал концентрацию подвижных форм тяжелых металлов в пахотном горизонте лугово-черноземной почвы, поступивших за счет осадков сточных вод.

При действии осадков сточных вод в комплексе с цеолитом содержание подвижного цинка в пахотном горизонте составляло 6,20 (ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га) – 14,00 мг/кг почвы (ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га), меди – 0,55-1,26, свинца – 1,60-3,27, никеля – 1,06-2,49, кадмия – 0,39-0,75 мг/кг почвы и было ниже концентрации подвижных форм тяжелых металлов, чем при одностороннем действии осадка: по цинку на 3,96-4,41 мг/кг почвы, по меди – на 0,21-0,26, по свинцу – на 0,55-0,71, по никелю – на 0,44-0,67, по кадмию – на 0,04-0,08 мг/кг почвы.

Осадки сточных вод, природный цеолит и совместное внесение осадка с цеолитом оказали определенное влияние на содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы и кукурузы (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в зерне сельскохозяйственных культур, мг/кг

Вариант	Наименование тяжелых металлов				
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd
Озимая пшеница (2015 г.)					
1. Без ОСВ и цеолита (контроль)	14,3	1,16	0,050	0,032	0,010
2. Цеолит 10 т/га	11,2	1,01	0,030	0,024	0,006
3. ОСВ 100 т/га	20,6	1,70	0,112	0,070	0,014
4. ОСВ 120 т/га	24,3	2,05	0,133	0,085	0,016
5. ОСВ 140 т/га	28,5	2,37	0,152	0,099	0,021
6. ОСВ 160 т/га	32,0	2,70	0,175	0,114	0,024

7. ОСВ 180 т/га	34,5	3,02	0,194	0,130	0,026
8. ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га	17,1	1,52	0,108	0,062	0,011
9. ОСВ 120 т/га + цеолит 10 т/га	20,9	1,80	0,129	0,076	0,012
10. ОСВ 140 т/га + цеолит 10 т/га	25,0	2,12	0,149	0,086	0,016
11. ОСВ 160 т/га + цеолит 10 т/га	28,2	2,46	0,171	0,101	0,019
12. ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га	30,9	2,75	0,190	0,118	0,020
Кукуруза (2016 г.)					
1. Без ОСВ и цеолита (контроль)	14,2	1,15	0,050	0,031	0,009
2. Цеолит 10 т/га	10,9	0,98	0,020	0,022	0,005
3. ОСВ 100 т/га	20,0	1,67	0,101	0,064	0,013
4. ОСВ 120 т/га	23,9	2,03	0,121	0,080	0,015
5. ОСВ 140 т/га	28,0	2,36	0,141	0,092	0,016
6. ОСВ 160 т/га	31,4	2,68	0,163	0,110	0,019
7. ОСВ 180 т/га	33,6	3,00	0,183	0,124	0,022
8. ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га	16,0	1,40	0,070	0,050	0,010
9. ОСВ 120 т/га + цеолит 10 т/га	20,0	1,76	0,099	0,060	0,011
10. ОСВ 140 т/га + цеолит 10 т/га	23,9	2,09	0,121	0,071	0,013
11. ОСВ 160 т/га + цеолит 10 т/га	27,4	2,39	0,132	0,092	0,015
12. ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га	29,5	2,68	0,153	0,102	0,018
ПДК	50,0	10,0	0,2	0,3	0,03

В варианте без внесения осадков сточных вод и цеолита содержание тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы и кукурузы было в 3,0-8,7 раза ниже ПДК.

Внесение в почву природного цеолита снижало содержание цинка в зерне озимой пшеницы на 3,1 мг/кг, меди – на 0,15, свинца – на 0,20, никеля – на 0,008, кадмия – на 0,004 мг/кг зерна.

Использование осадков сточных вод без цеолита повышало содержание цинка в зерне озимой пшеницы, в зависимости от нормы осадка, на 6,3 (ОСВ 100 т/га) – 20,2 мг/кг (ОСВ 180 т/га), содержание меди – на 0,54-1,86 мг/кг, содержание свинца – на 0,062-0,144 мг/кг, содержание никеля – на 0,038-0,098 мг/кг, содержание кадмия – на 0,004-0,016 мг/кг. Однако, несмотря на значительное повышение концентрации тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы от действия осадков сточных вод их содержание было ниже ПДК.

Использование осадков сточных вод в комплексе с природным цеолитом снижало накопление тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы. Содержание цинка в зерне пшеницы при комплексном использовании осадка с цеолитом снижалось по сравнению с вариантами, где осадок вносился без химического мелиоранта, на 3,4-3,8 мг/кг, меди – на 0,24-0,28 мг/кг, свинца – на 0,003-0,004 мг/кг, никеля – на 0,008-0,013 мг/кг, кадмия – на 0,003-0,006 мг/кг.

В 2016 году одностороннее действие природного цеолита снижало накопление цинка в зерне кукурузы, по сравнению с контролем, на 4,6 мг/кг, меди – на 0,17 мг/кг, свинца – на 0,030 мг/кг, никеля – на 0,009 мг/кг, кадмия – на 0,004 мг/кг.

В вариантах с использованием осадков сточных вод без химического мелиоранта содержание цинка в зерне кукурузы варьировало, в зависимости от нормы осадка, в интервале от 20,0 (ОСВ 100 т/га) до 33,6 мг/кг (ОСВ 180 т/га), меди – от 1,67 до 3,00 мг/кг, свинца – от 0,101 до 0,183 мг/кг, никеля – от 0,064 до 0,116 мг/кг, кадмия – от 0,013 до 0,022 мг/кг. Увеличение по отношению к контролю составляло: по цинку 5,8 (ОСВ 100 т/га) – 19,4 мг/кг (ОСВ 180 т/га), по меди – 0,52-2,85 мг/кг, по свинцу – 0,051-0,133 мг/кг, по никелю – 0,033-0,093 мг/кг, по кадмию – 0,004-0,013 мг/кг.

Содержание цинка в зерне кукурузы при комплексном внесении осадков сточных вод с природным цеолитом изменялось в зависимости от нормы осадка от 16,0 (ОСВ 100 т/га + цеолит 10 т/га) до 29,5 мг/кг (ОСВ 180 т/га + цеолит 10 т/га), меди – от 1,40 до 2,68 мг/кг, свинца – от 0,070 до 0,153 мг/кг, никеля – от 0,050 до 0,102 мг/кг, кадмия – от 0,010 до 0,018 мг/кг. Снижение концентрации тяжелых металлов в зерне кукурузы по сравнению с вариантами, где осадок использовался без химического мелиоранта составляло: по цинку – 4,0-4,1 мг/кг, по меди – 0,22-0,35 мг/кг, по свинцу – 0,20-0,32 мг/кг, по никелю – 0,014-0,022 мг/кг, по кадмию – 0,003-0,004 мг/кг.

Библиографический список:

1. Кузин, Е.Н. Использование осадков сточных вод и отходов промышленности в земледелии / Е.Н. Кузин, Н.П. Чекаев, Г.Е. Гришин, С.П. Ванюшин. – Пенза: ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА. – 2005. – 165 с.
2. Мерзлая, Г.Е. Агрехимические и экологические особенности использования осадков городских сточных вод для удобрения агроценозов / Г.Е. Мерзлая, Р.А. Афанасьев // Химическая и биологическая безопасность. – 2015. – № 1-2. – С. 110-115.
3. Пахненко, Е.Н. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения / Е.Н. Пахненко. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний. – 2007. – 311 с.
4. Куликова, А.Х. Последствие осадков сточных вод, применяемых в качестве удобрения сельскохозяйственных культур, в зависимости от систем основной обработки почвы / А.Х. Куликова, Н.Г. Захаров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 2 (30). – С. 6-13.
5. Захаров, Н.Г. Эффективность использования осадков сточных

вод в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в зернопашном севообороте / Н.Г. Захаров / автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. Саранск. – 2004. – 16 с.

INFLUENCE OF SEWAGE SLUDGE AND THEIR COMBINATION WITH THE ZEOLITE ON THE HEAVY METALS CONTENT IN SOIL AND IN GRAIN CROPS

Arefjev A.N., candidate of agricultural Sciences, associate Professor

Kuzina E.E., candidate of agricultural Sciences, associate Professor

Kuzin E. N., doctor of agricultural Sciences, Professor

FSBEIHE Penza SAU, e-mail: aan241075@yandex.ru

Key words: *heavy metals, sewage sludge, zeolite, winter wheat, corn.*

The influence of meliorative norms of sewage sludge in Penza city and their combinations with natural zeolite on the accumulation of heavy metals in the arable horizon of meadow-chernozem soil and in the grain of winter wheat and maize is revealed. It has been established that the unilateral use of sewage sludge significantly increased the content of heavy metals in the soil and in the grain of the studied crops. However, their content, both in soil and in crop production, was below the MPC. The introduction of natural zeolite in combination with sewage sludge reduces the accumulation of mobile forms of heavy metals in the soil and crop production.

УДК 57.042; 631.4

СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ СЛОЕ

Аскарова Д.А., соискатель

Глебов В.В., кандидат биологических наук, доцент

ФГАОУ ВО РУДН, vg44@mail.ru

Ключевые слова: *тяжелые металлы, почва, трансформация, фитотоксичность, экология*

В работе описано содержание и формы нахождения тяжелых металлов в почвенном слое. Представлены различные механизмы трансформации попавших в почву металлов (их мобильные формы). Один из основных процессов, влияющих на миграцию в почвах, - это