

УДК 631.95(476)

А. Р. Цыганов, И. Р. Вильдфлуш, А. Э. Томсон,  
Г. А. Соколов, М. Н. Каль, О. В. Поддубная, О. А. Поддубный  
**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ  
СОСТАВОВ ДЛЯ ДЕТОКСИКАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ  
ПОЧВ И СНИЖЕНИЯ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ  
В РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

В статье изложены результаты исследований по снижению подвижности тяжелых металлов на загрязненных дерново-подзолистых почвах и накопления их в яровой тритикале, салате и картофеле при использовании традиционных средств и органо-минеральных композиционных материалов.

Тяжелые металлы (ТМ) становятся опасными, когда они накапливаются в повышенных концентрациях в почвах, растениях и других объектах окружающей среды, поэтому расширение масштабов производственно-хозяйственной деятельности, внедрение новых технологий должно сопровождаться обязательным экологическим мониторингом окружающей среды.

В Беларуси проводится агрохимическое картирование на содержание в почвах цинка и меди, и уже установлено, что 260 тыс. га сельскохозяйственных угодий загрязнено медью, 179,3 тыс. га — цинком. Площадь почв, загрязненных свинцом от различных источников в настоящее время ориентировочно составляет 100 тыс. га, кадмием — 45 тыс. га [3].

Основными источниками загрязнения почв ТМ являются выбросы в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом, объектами энергетики и промышленными предприятиями. Мощный источник атмосферного загрязнения — тепловые электростанции (27 % всех выбросов в атмосферу) и предприятия по добыче и изготовлению строительных материалов (8,1 %). От 10 до 30 % поступивших в атмосферу тяжелых металлов оседает в радиусе 10 км от промышленного предприятия.

В условиях Беларуси только от стационарных источников сжигания топлива в атмосферу попадает 72 % мышьяка, 57 % ртути, 99 % никеля, 27 % кадмия, 33 % хрома, 27 % меди, 15 % свинца и 11 % цинка [4]. Другие производства, например цементное, привносят значительное количество кадмия (43 %), свинца (26 %), хрома 18 %. На долю электросталеплавильного производства приходится загрязнение кадмием (24 %), свинцом и хромом (15...16 %), цинком (81 %). Передвижные источники в основном загрязняют атмосферу цинком (20 %) и медью 38 %.

Небольшое количество тяжелых металлов поступает в почву с органическими, минеральными и известковыми удобрениями.

Расчет статей баланса тяжелых металлов в Беларуси за 30 лет (с 1965 по 1995 г.) показал, что скорость их аккумуляции в поверхностном слое почвы имеет положительное значение: для Cd — 5,1 г/га, для Pb — 162,1, для Zn — 692,3, для Cu — 192 г/га в год [5].

Приход тяжелых металлов с атмосферными осадками в Беларуси в среднем составляет: Cd — 3,44 г/га, Pb — 128,7, Zn — 498,4, Cu — 49,2 г/га [5].

Особенно мощным источником загрязнения является бесподстилочный навоз. Эквиваленты загрязнения им гораздо выше по сравнению с городскими сточными водами [2, 10].

Цель настоящего исследования — разработка органо-минеральных композиционных материалов или мелиорантов, обладающих высокими сорбционными свойствами по отношению к тяжелым металлам (Cd, Pb, Zn, Cu) и позволяющих не менее чем на 30 % снизить их накопление в растениеводческой продукции на загрязненных землях по сравнению со средствами, используемыми в настоящее время.

Изучение органо-минеральных мелиорантов, разработанных в Институте проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, проводилось в мелкоделяночном опыте с картофелем и яровой тритикале, вегетационном опыте с салатом и производственном опыте с картофелем в УКАП “Вейно” Могилевско-го района на загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почвах.

Мелкоделяночный опыт с картофелем сорта Аноста и яровой тритикале сорта Лана проводился на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. Общая площадь делянки в опыте составляла 1,44 м<sup>2</sup>, повторность вариантов — четырехкратная. Расположение вариантов и повторений в опыте было систематическим, многорядным, ступенчатым. Показатель рН<sub>KCl</sub> по вариантам опыта находился в пределах 5,9...6,2, содержание подвижных форм фосфора составляло 200...217 мг/кг, калия — 199...216 мг/кг почвы.

Искусственные фоны по загрязнению почвы кадмием в опытах с картофелем и яровой тритикале создавались внесением расчетных количеств сульфата кадмия и ацетата свинца в опытах с картофелем. Кадмий вносился в дозах 1, 2, 3, 6 мг/кг, свинец — 60, 100, 200, 300 и 500 мг/кг почвы.

Для снижения накопления тяжелых металлов в растениях яровой тритикале и картофеля использовались органо-минеральные мелиорирующие смеси на основе торфа, сапропеля, трепела и минеральных балансирующих добавок в дозе 60 т/га [8]. Органо-минеральные составы сравнивались с внесением 50 т/га подстилочного навоза, 60 т/га низинного торфа, известкованием в полной и двойной дозах, рассчитанных по гидролитической кислотности, а также с сочетанием известкования и навоза. Под картофель во всех вариантах опыта применялось N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, под яровую тритикале — N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>. Использование органо-минеральных систем на основе торфа позволяет направленно регулировать сорбционные и водно-физические свойства мелиорантов [9].

Ежегодно во всех вариантах опыта в двух несмежных повторностях отбирались почвенные образцы для определения агрохимических показателей и содержания ТМ.

Концентрация подвижных форм ТМ в почве определялась в вытяжке 1М раствора соляной кислоты на атомно-абсорбционном спектрофотометре ААС — 30.

Для изучения влияния разработанных органо-минеральных составов на урожайность листового салата и накопления в нем свинца, кадмия и цинка в 2003 г. в БГСХА проведен вегетационный опыт на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Показатель рН<sub>KCl</sub> по вариантам опыта находился в пределах 5,6...5,8, содержание подвижных форм фосфора — 165...171 мг/кг, калия — 159...167 мг/кг почвы.

Создание уровней по загрязнению почвы цинком, медью, свинцом и кадмием производилось путем внесения свинца — 150 мг/кг почвы, кадмия — 2 мг/кг, меди — 150 мг/кг, цинка 250 мг/кг. Тяжелые металлы вносились в виде сульфатов кадмия, меди, цинка и ацетата свинца.

Во всех вариантах опыта применялись минеральные удобрения в форме аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия в дозе N — 0,06 г/кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 0,1 г/кг и K<sub>2</sub>O — 0,1 г/кг почвы. Вегетационный опыт проводился в сетчатом павильоне в сосудах, вмещающих 6 кг почвы, повторность опыта — четырехкратная.

Несмотря на сравнительно невысокую мобильность, свинец даже в небольших концентрациях в почве угнетал растения картофеля в мелкоделяночном опыте. Наступление и продолжительность фаз развития растений сильно варьировали в зависимости от степени загрязнения почвы свинцом. Уже на первом уровне загрязнения урожайность клубней картофеля за 2 года снижалась в среднем на 4 %, а на пятом (максимальном) уровне — на 17,1 % по сравнению с незагрязненным фоном (табл. 1).

Между содержанием подвижного свинца в почве и его накоплением в растениях картофеля по данным корреляционного и регрессионного анализов была обнаружена тесная связь ( $R = 0,94...0,95$ ). Картофель накапливал свинец очень интенсивно, причем в ботве в среднем по вариантам опыта в 20 раз больше, чем в клубнях. Так, уже на втором уровне загрязнения почвы свинцом (в 1,7 раза выше ОДК) ботва накапливала этот элемент выше МДУ, а клубни даже при максимальном загрязнении почвы (в 7,6 выше ОДК) не накапливали свинец больше МДУ.

На загрязненных участках в варианте с максимальной дозой внесения ацетата свинца (500 мг/кг почвы) содержание подвижных форм свинца превышало ОДК в 7,6 раза.

Таблица 1

Влияние уровней загрязнения почвы свинцом на урожайность и его накопление в клубнях картофеля (в среднем за 1998—2000 гг.)

Варианты опыта	Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	Картофель	
		Содержание Pb, мг/кг	
		в клубнях	в почве
1. Фон	2,98	0,16	1,55
2. Pb 60 мг/кг	2,87	0,52	26,15
3. Pb 100 мг/кг	2,80	0,77	39,96
4. Pb 200 мг/кг	2,72	1,26	104,42
5. Pb 300 мг/кг	2,61	1,30	151,19
6. Pb 500 мг/кг	2,47	1,55	193,07
7. Pb 500 мг/кг + CaCO <sub>3</sub>	2,70	1,21	160,76
8. Pb 500 мг/кг + 2CaCO <sub>3</sub>	2,94	0,89	129,77
9. Pb 500 мг/кг + мелиорант 60 т/га	3,40	0,73	114,52
10. Pb 500 мг/кг + CaCO <sub>3</sub> + навоз 50 т/га	3,26	0,81	124,25
11. Pb 500 мг/кг + торф 60 т/га	3,38	0,77	115,81
НСР <sub>05</sub>	0,05	0,03	0,12
ОДК и МДУ	—	1,8	25,0

Примечание. Под яровую тритикале применялось N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>.

На данном уровне загрязнения дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы применение таких материалов, как мелиорант (60 т/га) и торф (60 т/га), вызвало наилучший эффект среди изучаемых приемов по снижению подвижности Pb в почве. В этих вариантах по сравнению с максимально загрязненным фоном в среднем за 2 года подвижность свинца в почве снизилась на 39,6 % и 40,0 % соответственно.

При использовании сочетания известковых и органических удобрений подвижность свинца уменьшилась на 35,6 %. Известкование максимально загрязненного фона, особенно в двойной дозе по гидролитической кислотности, также значительно снизило подвижность свинца в почве (в одинарной дозе — на 16,7 %; в двойной дозе — на 32,8 %).

Среди изучаемых приемов по снижению негативного воздействия высоких концентраций Pb на рост, развитие и, соответственно урожайность клубней картофеля наиболее эффективным оказалось использование 60 т/га мелиоранта и 60 т/га торфа. Применение органо-генных материалов не только устраняло отрицательное влияние сильного загрязнения почвы свинцом на урожайность клубней картофеля, но и способствовало повышению урожайности по сравнению с незагрязненным фоном. В варианте с максимальным уровнем загрязнения почвы свинцом при внесении мелиорирующих материалов урожайность клубней возрастала на 14,1 % и 13,4 %, по-видимому, за счет того, что мелиорант и торф являются хорошими органическими удобрениями под пропашные культуры. Несколько увеличивалась урожайность клубней картофеля и при сочетании внесения 50 т/га навоза с известкованием. Полностью устраняло негативное воздействие загрязнения почвы свинцом на урожайность клубней картофеля известкование в двойной дозе по гидролитической кислотности. В среднем за 3 года в вариантах с максимальным загрязнением почвы Pb накопление этого элемента в растениях картофеля по сравнению с незагрязненным фоном увеличивалось в клубнях в 9,7 раза. Согласно санитарно-гигиеническим нормам Беларуси даже в этом варианте накопление свинца было ниже МДУ (табл. 1). Использование 60 т/га мелиоранта и 60 т/га торфа оказалось также наиболее эффективным в деле снижения накопления Pb в растениях картофеля. Содержание свинца в этих вариантах снизилось в клубнях на 50,3 %. Близким по эффективности является использование сочетания известковых и органических удобрений (накопление свинца в клубнях снизилось на 47,7 %). При известковании, особенно в двойной дозе по гидролитической кислотности, также значительно снижалось накопление Pb в клубнях картофеля (в одинарной дозе — на 21,9 %, в двойной дозе — на 42,3 %).

Таким образом, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, сильно загрязненной свинцом, наиболее эффективными приемами по снижению подвижности этого элемента в почве, а также его накопления в клубнях и ботве картофеля оказались применение органических и органо-минеральных адсорбирующих мате-

риалов (60 т/га мелиоранта и 60 т/га торфа) и сочетание известкования с внесением 50 т/га навоза.

Уже на первом уровне загрязнения почвы кадмием, превышающего ОДК в среднем за годы исследований в 2,6 раза, урожайность яровой тритикале снижалась на 2,2 %, картофеля — на 2 %. При максимальном загрязнении дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы кадмием, превышающем ОДК в 13,5 раза, урожайность яровой тритикале снижалась на 17,7 % (табл. 2).

В опытах наблюдалась пропорциональная зависимость между содержанием подвижного кадмия в почве и его накоплением в растениях ( $R = 0,85...0,99$ ). Причем в соломе яровой тритикале кадмий накапливался в 1,5 раза больше, чем в зерне, в ботве картофеля — в 4,6...5,3 раза больше, чем в клубнях. Данный эффект можно объяснить тем, что растения используют два пути приспособления к повышенным концентрациям избыточных ионов в среде обитания:

ограничение поступления в растение и отдельные его части благодаря наличию защитного механизма;

инактивация поступивших в растения ТМ, их вывод в менее поражаемые части клетки, а также изменение метаболических путей [1].

В опытах наблюдалось очень активное поступление кадмия в растения. Даже на относительно незагрязненном фоне (0,22...0,23 мг/кг подвижного кадмия в почве) зерно яровой тритикале накапливало этот элемент выше действующих в настоящее время МДУ (0,1 мг/кг сухого вещества).

По-видимому, принятые МДУ слишком жесткие, так как даже на чистом фоне невозможно было получить зерно яровых культур с содержанием кадмия в пределах установленных норм (в бывшем СССР действовали менее жесткие МДУ — 0,3 мг/кг кадмия для зерна яровых культур).

В опыте с яровой тритикале наиболее эффективным способом уменьшения накопления кадмия в зерне оказалось применение 60 т/га мелиоранта и 60 т/га торфа, а также сочетание известкования с внесением 50 т/га навоза.

Таблица 2

Влияние уровней загрязнения почвы кадмием на урожайность культур и его накопление в растениеводческой продукции (в среднем за 1998—2000 гг.)

Варианты опыта	Яровая тритикале			Картофель		
	урожайность, г/м <sup>2</sup>	содержание Cd, мг/кг		урожайность, кг/м <sup>2</sup>	содержание Cd, мг/кг	
		в зерне	в почве		в клубнях	в почве
1. Фон	401	0,173	0,23	2,96	0,029	0,22
2. Cd 1 мг/кг	392	0,228	0,90	2,90	0,302	1,02
3. Cd 2 мг/кг	384	0,278	1,73	2,81	0,556	1,66
4. Cd 3 мг/кг	358	0,339	2,10	2,69	0,854	1,95
5. Cd 6 мг/кг	350	0,477	3,83	2,56	1,025	3,83
6. Cd 9 мг/кг	330	0,582	5,60	2,36	1,666	5,35
7. Cd 9 мг/кг + CaCO <sub>3</sub>	368	0,503	4,50	2,63	0,989	4,53
8. Cd 9 мг/кг + 2CaCO <sub>3</sub>	400	0,436	4,08	2,90	0,622	4,38
9. Cd 9 мг/кг + мелиорант, 60 т/га	382	0,405	3,93	3,33	0,550	4,14
10. Cd 9 мг/кг + CaCO <sub>3</sub> +навоз 50, т/га	393	0,419	3,79	3,19	0,569	4,17
11. Cd 9 + торф 60 т/га	385	0,427	3,96	3,31	0,562	4,14
НСП <sub>05</sub>	3,20	0,012	0,008	0,05	0,010	0,010
МДУ	—	0,1	0,4	—	0,1	0,4

Примечание. Под яровую тритикале применяли N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и картофель N<sub>90</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

Известкование в двойной дозе значительно смягчало отрицательное воздействие кадмия на урожайность и его накопление в зерне. В опыте с яровой тритикале в этом варианте за годы исследований накопление кадмия в зерне снижалось в среднем на 25,8 %

Хороший эффект снижения накопления кадмия в растениях наблюдался в варианте, где применялись 50 т/га навоза. В этом варианте накопление кадмия в зерне яровой тритикале уменьшалось на 8,2 %.

Эффективным приемом по снижению накоплению кадмия в зерне яровой тритикале было сочетание известкования с внесением 50 т/га навоза, которое уменьшало накопление кадмия в зерне яровой тритикале на 28 %. Еще больший эффект

по снижению негативного воздействия кадмия на урожайность яровой тритикале и его накопления в растениях оказало применение органо-минерального композиционного материала. Так, при внесении 60 т/га мелиоранта накопление в зерне яровой тритикале кадмия снижалось на 31 %.

В 2003 г. нами был проведен вегетационный опыт с салатом, где изучалось влияние загрязнения дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы медью, цинком, свинцом и кадмием на урожайность салата, содержание подвижных форм ТМ в почве и накопление ТМ в растениях салата.

О фитотоксичности тяжелых металлов судят по продуктивности культур, т. е. по накоплению биомассы или урожайности в зависимости от уровня загрязнения почвы. Если из-за присутствия в почве того или иного элемента культура снижает урожайность на 5...10 %, то уровень его содержания в почве считается токсичным [1].

В варианте, где вносилось 150 мг/кг почвы меди, урожайность салата снижалась почти в 2 раза (табл. 3).

Установлен антагонизм в накоплении меди и марганца в корнях и надземных растительных органах [7].

Цинк оказался менее токсичным для салата, и при внесении его в дозе 250 мг/кг почвы урожайность этой культуры снижалась только на 17,4 %, что согласуется и с исследованиями Р. Б. Сливинской [7].

Отрицательное влияние сильного загрязнения медью на урожайность салата значительно снижалось при внесении навоза и особенно изучаемого органо-минерального мелиоранта. При его применении урожайность салата составила уже 84 % урожая, полученного на не загрязненном медью фоне.

Таблица 3

Влияние загрязнения почвы тяжелыми металлами на урожайность и накопление их в листьях салата листового

Варианты опыта	Содержание ТМ в почве, мг/кг	Урожайность, г/сосуд	Содержание ТМ в растениях, мг/кг сух. в-ва
Фон I — контроль	1,6	28,47	8,3
Cu <sub>150</sub>	131,3	14,30	25,8
Cu <sub>150</sub> + навоз	93,7	20,06	18,4
Cu <sub>150</sub> + CaCO <sub>3</sub>	87,8	14,23	17,3
Cu <sub>150</sub> + мелиорант	79,2	23,90	15,3
Фон II — контроль	4,5	28,47	24,6
Zn <sub>250</sub>	162,5	23,53	134,8
Zn <sub>250</sub> + навоз	129,6	26,83	82,7
Zn <sub>250</sub> + CaCO <sub>3</sub>	125,1	23,60	82,1
Zn <sub>250</sub> + мелиорант	71,3	28,27	67,1
Фон III — контроль	4,3	28,47	1,2
Pb <sub>150</sub>	80,6	17,0	9,1
Pb <sub>150</sub> + навоз	52,4	22,1	5,2
Pb <sub>150</sub> + CaCO <sub>3</sub>	49,4	26,53	4,6
Pb <sub>150</sub> + мелиорант	47,1	25,03	4,3
Фон IV — контроль	0,15	28,47	0,11
Cd <sub>2</sub>	1,73	16,13	0,62
Cd <sub>2</sub> + навоз	1,25	19,77	0,46
Cd <sub>2</sub> + CaCO <sub>3</sub>	1,38	17,07	0,44
Cd <sub>2</sub> + мелиорант	1,12	26,13	1,37
НСП <sub>05</sub> — по фонам	—	1,36	—
НСП <sub>05</sub> по вариантам	—	1,52	—
НСП <sub>05</sub>	—	3,04	—

Применение органо-минерального мелиоранта в дозе 60 т/га практически устраняло отрицательное влияние сильного загрязнения медью на урожайность салата.

Внесение в почву Cu в дозе 150 мг/кг почвы увеличивало содержание ее подвижных форм в 82,3 раза и привело к сильному загрязнению этим металлом. Содержание меди в почве в данном варианте опыта превышало ОДК [6] в 26,3 раза, но содержание Cu в салате возросло только в 3,1 раза по сравнению с контролем. МДУ меди в овощных культурах составляет 5 мг/кг сырой массы [6]. По данным Ю. В. Алексеева [1], медь из почвы в растения мигрирует слабо.

Наиболее эффективным приемом снижения накопления меди в растениях салата было известкование и особенно применение органо-минерального компози-

онного материала в дозе 60 т/га. Подвижность меди в почве под влиянием мелиоранта снизилась на 39,7 %, а благодаря внесению 60 т/га навоза — на 28,7 %. Применение органо-минерального мелиоранта в дозе 60 т/га снизило также накопление меди в салате на 40,7 % и не превышало МДУ для овощных культур (5 мг/кг сырой массы).

Таким образом, использование органо-минерального композиционного материала или мелиоранта дает возможность вырастить салат даже на почвах с очень сильным загрязнением медью с допустимым содержанием этого ТМ.

Применение навоза, известкование и внесение мелиоранта существенно снижали накопление цинка в растениях салата, однако наиболее сильно (в 2 раза) оно уменьшалось при использовании 60 т/га мелиоранта.

МДУ цинка в овощных культурах — 50 мг/кг сырой массы [5].

В нашем опыте при применении органо-минерального материала содержание цинка в салате снизилось до 67,1 мг/кг сухой массы, что при пересчете на сырую массу укладывается в допустимые границы для овощных культур.

Внесение свинца в дозе 150 мг/кг почвы увеличивало содержание подвижных форм этого ТМ в 18,7 раза и превысило ОДК для суглинистых почв в 3,2 раза. Применение мелиоранта, навоза и известкование снижали подвижность свинца в почве. Наиболее значительное снижение подвижности свинца в почве отмечено при внесении мелиоранта — на 41,6 % (табл. 3).

Существенно снижалась урожайность салата при сильном загрязнении почвы свинцом и кадмием: на 40,3 и 42,7 % соответственно.

Основная часть свинца депонируется в корнях, только 1...2 % переходит в надземные органы. В высокой концентрации свинец угнетает ростовые процессы, вызывает нарушения в пигментных комплексах и уменьшает содержание в тканях хлорофилла, витамина С и провитамина А [6].

Наиболее значительное влияние на снижение отрицательного действия сильно загрязненной почвы свинцом оказали применение органо-минерального композиционного материала и известкование (табл. 1). На почвах с сильным загрязнением кадмием больший эффект вызвало применение органо-минерального мелиоранта, что давало возможность получить урожайность салата, составившую 92,4 % полученного на незагрязненных кадмием почвах, т. е. почти полностью устраняло негативное действие этого ТМ на растения.

На сильно загрязненных свинцом почвах накопление этого элемента в сухой массе салата возрастало в 7,6 раза. Внесение мелиоранта, навоза и извести снижало накопление свинца в растениях салата. Наиболее существенным оно было при применении мелиоранта. В этом варианте опыта содержание свинца в салате снизилось в 2,1 раза.

МДУ содержания свинца в овощах достаточно жесткий (0,3 мг/кг сырой массы), и применение даже наиболее эффективного из изучаемых в опыте приемов снижения накопления свинца (органо-минеральных составов) не дало возможности получить салат с допустимым уровнем содержания свинца (табл.3).

Внесение кадмия 2 мг/кг почвы увеличивало содержание в почве подвижных форм этого элемента в 11,5 раза (табл. 3).

В варианте с внесением кадмия в дозе 2 мг/кг почвы содержание подвижных форм этого элемента превысило ОДК (0,4 мг/кг) для суглинистых почв в 4,3 раза.

Кадмий активно поступал в растения салата. В варианте с внесением 2 мг/кг почвы содержание кадмия в сухой массе салата возросло в 5,6 раза.

Внесение таких материалов, как 60 т/га навоза, 6 т/га извести, 60 т/га мелиоранта, понизило содержание кадмия в сухой массе салата в 1,3, 1,4 и 1,7 раза соответственно. Для овощных культур МДУ кадмия составляет 0,03 мг/кг сырой массы. Таким образом, на сильно загрязненных кадмием почвах ни один из изучаемых приемов не обеспечил возможности получить салат с допустимым уровнем содержания кадмия.

В 2005 г. в УКАП “Вейно” Могилевского района был проведен производственный опыт с картофелем сорта Ласунок на площади 40 га в соответствии с существующими методическими и агротехническими требованиями. Почва дерново-подзолистая супесчаная, рН<sub>KCl</sub> 6,4, содержание гумуса 3,12 %, подвижных форм фосфора — 316 мг, калия — 270 мг на 1 кг почвы. Исходное валовое содержание в

почве тяжелых металлов составило (мг/кг почвы): Pb — 10,3; Cd — 0,5; Ni — 5,9; Cu — 4,6; Zn — 20,3; Mn — 393.

Урожайность клубней картофеля в производственном опыте на дерново-подзолистой почве в УКАП “Вейно” в базовом варианте составила 180 ц с 1 га, а на внедряемом варианте — на 30 ц больше. При этом средняя масса клубня на новой технологии была больше на 16 г, а доля средних и крупных клубней в общей их массе — на 9 % выше (табл. 4), чем в базовой.

Таблица 4

Влияние органо-минеральных смесей на урожайность клубней картофеля

Вариант	Урожайность, ц/га	Средняя масса клубней, г	Доля крупных и средних клубней в общей массе, %
50 т/га навоза + N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub>	180	74	84,8
50 т/га мелиоранта	210	90	94,1

Результаты химических анализов клубней картофеля, выполненных в ИПИПРЭ НАН Беларуси, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние органо-минеральных смесей на качество урожая и содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля

Показатель	Базовый вариант (50 т/га навоза + N <sub>90</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> )		Внедряемый вариант (50 т/га мелиоранта)
Крахмал, %	14,36		14,34
Сухое вещество, %	17,28		17,26
Азот, % на сух. в-во	1,60		1,65
Фосфор, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , % на сух. в-во	0,58		0,56
K <sub>2</sub> O, % на сух. в-во	2,20		2,24
Mn, мг/кг натур. влажности	0,77		0,60
Pb, мг/кг натур. влажности	0,54		0,36
Cd, мг/кг натур. влажности	0,035		0,019
Cu, мг/кг натур. влажности	0,61		0,43
Zn, мг/кг натур. влажности	2,39		1,93
Ni, мг/кг натур. влажности	0,47		0,31

Снижение поступления тяжелых металлов в клубни картофеля на рекомендуемом варианте в сравнении с базовым составило от 20,1 до 45 %, в среднем на 32,8 %.

В результате применения органо-минерального композиционного мелиоранта получены клубни с допустимым содержанием тяжелых металлов, в том числе по свинцу и кадмию, концентрация которых в базовом варианте превышала допустимый уровень.

• Список литературы

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: Агропромиздат, 1987. — 95 с.
2. Анализ существующего положения, оценка региональных и прогноз сельскохозяйственного использования осадков московских станций аэрации в хозяйствах Московской области/Под ред. Н. З. Милащенко. — М.: ВАСХИЛ, 1989. — 219 с.
3. Богдевич И. М., Смеян Н. И., Щербатов В. А. Экологическое состояние почв Беларуси. II Междунар. аграрный журнал. 2000. № 5. — С. 26—33.
4. Выбросы тяжелых металлов в атмосферу/С. В. Какарека, В. С. Хомич, Т. И. Кухарчик и др. — Мн., 1998 — 154 с.
5. Головатый С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. — Мн., 2002. — 240 с.
6. Макарова В. Г., Цыганов А. Р., Мажайский Ю. А. и др. Экологические и медико-социальные аспекты охраны природной среды и здоровья населения. — Мн.: БИТ “Хата”, 2002. — 286 с.
7. Славинская Р. Б. Нарушение водного баланса растений под влиянием тяжелых металлов: Тез. док. 2-го съезда Всесоюз. об-ва физиологии растений — Мн., 1992. Ч. 2. — С. 192.
8. Способ снижения поступления тяжелых металлов в растения из почвы. Патент РБ № 5341.

9. Томсон А. Э., Соколова Т. В., Пехтерева В. С. и др. Кинетика сорбции ионов металлов композиционными системами на основе торфа//Природопользование. 2005. Вып. 11. — Мн., 2005. — С. 169—173.
10. Экологическая ситуация в Беларуси, обусловленная агротехногенным воздействием тяжелых металлов на компоненты природной среды/Н. Н. Бамбалов, С. Е. Головатый, Г. А. Соколов и др.; Доклад Правительству Республики Беларусь. — Мн., 1991 — 71 с.

Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия,  
Институт проблем использования природных  
ресурсов и экологии НАН Беларуси

А. Р. Цыганаў, І. Р. Вільдфлуш, А. Э. Томсан, Г. А. Сакалоў,  
М. М. Каль, В. У. Паддубная, А. А. Паддубны

**ЭФЕКТЫЎНАСЦЬ УЖЫВАННЯ АРГАНА-МІНЭРАЛЬНЫХ СКЛАДАЎ ДЛЯ  
ДЭТАКСІКАЦЫІ ДЗЯРНОВА-ПАДЗОЛІСТЫХ ГЛЕБАЎ І ЗНІЖЭННЯ  
НАЗАПАШВАННЯ ЦЯЖКІХ МЕТАЛАЎ У РАСЛІННАЙ ПРАДУКЦЫІ**

Работа прысвечана вывучэнню эфектыўнасці аргана-мінэральных кампазіцыйных меліярантаў з павышанымі сарбцыйнымі ўласцівасцямі і здольнасцю зніжаць рухомасць цяжкіх металаў у глебе. Даследаванні праводзіліся ў дробнадзяляначным доследзе з салатай і ў вытворчым доследзе з бульбай ва УКАП “Вейна” Магілёўскага раёна на забруджаных цяжкімі металамі дзярнова-падзолістых глебах.

У доследах з рознымі сельскагаспадарчымі культурамі разам з традыцыйнымі агратэхнічнымі сродкамі і прыёмамі вывучалі дзеянне 60 т/га аргана-мінэральных кампазіцыйных складаў, вырабленых на аснове торфу, сапрапелю, трэпелу і мінэральных балансіроўных дабавак, на дэтаксікацыю глебаў і назапашванне цяжкіх металаў у расліннай прадукцыі на забруджанай дзярнова-падзолістай глебе. Пад уплывам аргана-мінэральных кампазіцыйных складаў на дзярнова-падзолістых лёгкасугліністых глебах, моцна забруджаных цяжкімі металамі, рухомасць медзі, цынку, свінцу і кадму зніжлася ў 2,0, 1,7 і 1,8 разу адпаведна.

У доследах з бульбай і яравой трыцікале ўжыванне аргана-мінэральных меліярантаў зніжала назапашванне ў клубнях свінцу на 50,3 %, кадму — на 67,8 %, а ў зерні — на 28 %. Ужытак новых меліяравальных складаў зніжаў назапашванне ў сухой масе салаты: медзі — у 1,7, цынка — 2,0, свінцу — 2,1 і кадму — у 1,7 разу.

Ураджайнасць клубняў бульбы ў вытворчым доследзе на дзярнова-падзолістай глебе ва УКАП “Вейна” ў базавым варыянце склала 180 ц/га, а на ўкараняемым варыянце — на 30 ц/га больш. Пры гэтым сярэдняя маса клубня была большай на новай тэхналогіі на 16 грамаў, а доля сярэдніх і буйных клубняў у агульнай іх масе на 9 % вышэй, чым у базавай. У сярэднім зніжэнне наступлення цяжкіх металаў у клубні бульбы на рэкамендаваным варыянце ў параўнанні з базавым склала ад 20,1 % да 45 %, ці ў сярэднім на 32,8 %.

A. R. Tsyganov, I. R. Vildflush, A. E. Tomson,  
G. A. Sokolov, M. N. Kal, O. V. Poddubnaya, O. A. Poddubny

**EFFICIENCY OF APPLICATION OF ORGANIC-MINERAL AMELIORANTS FOR  
SOILS DETOXICATION AND REDUCTION OF HEAVY METALS ACCUMULATION  
IN PLANT PRODUCTION ON POLLUTED SODDY-PODZOLIC SOILS**

The paper is devoted to the study of organic-mineral composite ameliorants, having increased sorption properties and ability to reduce mobility of heavy metals in soil when applying them for soil detoxication and reducing heavy metals accumulation in plants on polluted soils.

The researches were carried out in small-plot experiments with a potatoes and summer triticale, vegetative experiments with salad and in 40 hectares production field in agricultural enterprise “Veyno” of Mogilyov region with potatoes on polluted by heavy metals soddy-podzolic soil.

The efficiency of action of organic-mineral ameliorants made on the basis of peat, sapropel and mineral balancing additives was studied in comparison with traditional agronomical technique.

It was revealed that under the influence of organic-mineral materials applied on soddy-podzolic clay loam soils ( polluted hardly by heavy metals) the mobility of Cu, Zn, Pb and Cd was reduced 2,0; 1,7 and 1,8 times accordingly.

Application of organic-mineral ameliorant in small-plots experiments with potatoes and summer triticale lead to the reduction of accumulation of Pb in potato tubers by 50,3 %, Cd — by 67,8 % and in triticale grain by 28 %.

Application of new ameliorating materials resulted in reduction of copper accumulation by salad plants 1,7; zinc — 2,0, lead — 2,1 and cadmium 1,7 times in comparison with checked variant.

Productivity of potatoes on basic variant in agricultural enterprise “Veyno” has made 180 double centners per hectare and on introduced variant — 3.0 ton more. The average tuber weight in new variant was 16 grams higher and the share of large size tubers by 9 % higher than in basic one.

The average decrease of heavy metals content in potato tubers of the recommended variant reached from 20 % to 45 % or 32,8 % on the average in comparison with basic technology.