

В. В. Бобкова, научный сотрудник

С. Н. Коновалов, в.н.с., к.б.н.

ФГБНУ ВСТИСП, Россия, г. Москва

vstisp.agrochem@yandex.ru

УДК 631.95:546.76:669.73:546.81:546.47:634.75

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
РАСТЕНИЯМИ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)
ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ
АДСОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ
СУБСТРАТОВ**

Реферат. В вегетационном опыте изучены закономерности влияния адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов Бентонит, Арполит, Супродит, Агронит на аккумуляцию тяжёлых металлов (ТМ) растениями земляники садовой сорта Троицкая при искусственном загрязнении дерново-подзолистой почвы на уровне ОДК (ориентировочно допустимой концентрации) валового содержания ТМ: Cd 2 мг/кг, Cr 100 мг/кг (ОДК отсутствует), Pb 130 мг/кг, Zn 220 мг/кг. Установлено, что применение адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов способствует снижению содержания в почве подвижных форм Cr, Cd, Pb. В наибольшей степени содержание ТМ снижается при внесении в почву адсорбентов Супрадит М (на 78,5 % для Cd и 40,1 % для Pb, по сравнению с фоном) и Агронит (на 79,0 % для Cd и на 48,9 % для Pb, по сравнению с фоном). Для подвижного Cr тенденция снижения содержания в почве была статистически недостоверной. Содержание подвижного Zn в вариантах с внесением всех адсорбентов, наоборот, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени при внесении адсорбента Супрадит М – на 26,1 %, по сравнению с фоном. Применение адсорбентов приводило к снижению содержания в корнях растений земляники садовой Cd и Pb. В наибольшей степени снижение их содержания в корнях было при внесении адсорбентов Супрадит М (на 65,2 % для кадмия и 76,8 % для свинца, по сравнению с фоном)

и Агронит (на 65,7 % для кадмия и на 78,2 % для свинца, по сравнению с фоном). Содержание Zn в корнях в вариантах с внесением адсорбентов, за исключением Бентонита, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени при внесении адсорбента Супрадит М – на 45,2 %. Содержание в корнях Cr при применении всех адсорбентов, кроме Агронита, также имело тенденцию к возрастанию, в наибольшей степени при внесении Арполита – на 105,9 %, по сравнению с фоном. При внесении в почву адсорбентов Супрадит М и Агронит содержание в листьях Cd снижалось: при внесении адсорбента Супрадит М на 52,9 %, Агронит – на 41,2 %, по сравнению с фоном. Содержание Zn, Cr, Pb в листьях в вариантах с внесением адсорбентов возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени при внесении адсорбента Арполит: на 63,7 % – для Zn, на 71,2 % – для Cr, на 46,3 % – для Pb. При применении данного адсорбента содержание в листьях Cd также возрастало – на 105,9 % выше загрязнённого фона. Содержание Cd, Cr, Pb, Zn в плодах растений земляники садовой при применении адсорбентов менее, чем в корнях и листьях, зависело от содержания соответствующих тяжёлых металлов в почве и не было статистически значимым. При внесении в почву адсорбентов Супрадит М и Агронит содержание в плодах Cd имело тенденцию к снижению: при применении адсорбента Супрадит М – на 30,0 %, Агронит – на 40,0 %, по сравнению с фоном. При внесении в почву адсорбента Арполит содержание Cd в плодах имело тенденцию к возрастанию на 30,0 %, Pb – на 111,8 % от фона. Содержание Cr в плодах в вариантах с внесением адсорбентов возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени при внесении адсорбента Бентонит – на 180,0 %. Для содержания в плодах Zn выраженной закономерной тенденции действия адсорбентов не отмечалось. Наиболее тесной взаимосвязь содержания ТМ в органах растений земляники садовой с содержанием подвижных форм тяжёлых металлов в почве наблюдалась для корней и листьев. Для Cr подобная зависимость отсутствовала. При изучаемых уровнях содержания подвижных ТМ в почве

важную роль в аккумуляции тяжёлых металлов выполняют барьерные свойства растений земляники садовой. Коэффициенты транслокации тяжёлых металлов были выше в вариантах опыта, в которых при внесении адсорбентов отмечено снижение содержания в почве подвижных форм ТМ. Для Cd в варианте с применением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации ТМ были выше фонового значения на 98,0 и 72,5 %, соответственно. Для Pb величины коэффициентов транслокации возрастали при применении указанных адсорбентов, по сравнению с фоном, на 300 % и 350 %, соответственно. При повышенном содержании подвижных форм ТМ в почве в вариантах с внесением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации для Zn, по сравнению с фоном, были ниже на 33,3 % и на 33,3 %, соответственно.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, адсорбенты, земляника садовая, дерново-подзолистая почва.

Введение

Интенсивное развитие сельскохозяйственного производства неизбежно связано с проблемами загрязнения окружающей среды. Среди загрязнителей агроценозов одно из ведущих мест занимают тяжёлые металлы (ТМ). Поглощение и накопление сельскохозяйственными растениями ТМ в концентрации, опасной для здоровья человека, является серьёзной проблемой, требующей решения даже для агроценозов, загрязнение ТМ в которых не превышает допустимых значений. Одной из актуальных задач в различных отраслях сельского хозяйства, в том числе в промышленном садоводстве и ягодоводстве, является разработка приёмов обеззараживания загрязнённых ТМ почв и методов выращивания экологически безопасной продукции на подверженных загрязнению территориях. Эти приёмы могут быть направлены или на уменьшение общего содержания ТМ в почве, или на снижение подвижности и доступности ТМ растениям [1,2]. К первой группе мелиоративных приёмов относится фиторемедиация, которая базируется на выращивании и последующей утилизации растений, способных извлекать ТМ

из почвы [3-6]. Широко распространёнными приёмами детоксикации загрязнённых почв путём снижения подвижности и доступности ТМ растениям является применение различных мелиорантов: извести, торфа, органических удобрений, хелатообразующих органических кислот и т.д. [7-12]. Известкование способствует повышению рН реакции среды, в результате чего подвижность в почве тяжёлых металлов снижается [13]. Применение торфа, органических удобрений приводит к образованию комплексных соединений с тяжёлыми металлами, что снижает доступность ТМ растениям. Имеются данные о снижении миграции и доступности ТМ растениям ризосферными бактериями [14-15]. Применение микроорганизмов способствует трансформации тяжёлых металлов в стабильные металлоорганические комплексы, не доступные растениям. Для этого целью повышения устойчивости растений к фитотоксичному воздействию тяжёлых металлов используют внесение в почву микроорганизмов в составе биопрепаратов [16]. Широко распространённым методом детоксикации ТМ является использование природных и искусственных сорбентов, например, набухающих глинистых минералов [17,18] и цеолитов – минералов, имеющих каркасное строение с пустотами, определяющими их способность к адсорбции ТМ [19,21]. Достаточно высокой адсорбционной способностью по отношению к ТМ обладают некоторые полимеры, например, сшитые полимерные гидрогели [22,23].

Место проведения, объекты и методика исследования

Цель работы – изучить закономерности влияния адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов Бентонит, Арполит, Супродит, Агронит на аккумуляцию тяжёлых металлов (ТМ) растениями земляники садовой сорта Троицкая при искусственном загрязнении дерново-подзолистой почвы на уровне ОДК (ориентировочно допустимой концентрации) валового содержания ТМ: Cd 2 мг/кг, Cr 100 мг/кг (ОДК отсутствует), Pb 130 мг/кг, Zn 220 мг/кг. Исследования проводились в 2016-2018 гг. в вегетационном опыте на агрохимической площадке ФГБНУ ВСТИСП, расположенной в Ленинском

районе Московской области, с растениями земляники садовой сорта Троицкая. Опыт заложен в сосудах ёмкостью на 5 кг почвы, в качестве субстрата использовалась окультуренная дерново-подзолистая почва легкосуглинистого гранулометрического состава. Химический состав почвы: щелочногидролизующий азот – 15,96 мг/100 г, подвижный фосфор P_2O_5 – 54,0 мг/100 г, подвижный калий K_2O – 19,3 мг/100 г, $pH_{KCl}=6,5$. Перед посадкой растений, в соответствии со схемой опыта, в почву внесли: $3 CdSO_4 \cdot 8H_2O$ – 23 мг на сосуд; $Pb(NO_3)_2$ – 1 039 мг на сосуд; Cr_2O_3 – 731 мг на сосуд; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ – 4 875 мг на сосуд. Ежегодно весной вносили минеральные удобрения: N_{aa} – 200 мг тука/сосуд; P_c – 200 мг тука/сосуд; K_c – 200 мг тука/сосуд. В опыте были использованы следующие сорбенты.

Бентонит (назван по месторождению Бентон, США) – природный глинистый минерал, гидроалюмосиликат. Основным компонентом бентонита является глинистый минерал монтмориллонит, относящийся к слоистым силикатам. Доза внесения 25 г/сосуд.

Арполит (Arpolith), Германия – улучшитель почвы на основе минеральной глины (бентонит), синтетического полимера (полиакриловые кислоты с натуральными углеводами) и дроблённые горные породы (лава). Обеззараживает почву, предотвращает заболевание растений, постепенно в течение 3-4 лет разлагается микроорганизмами на азот, фосфор, калий. Впитывает влагу и удобрения, затем равномерно и постепенно отдает их растениям. Коэффициент впитывания воды 1:30 по массе. Доза внесения 5 г/сосуд.

Супродит – адсорбент пролонгированного действия, состоит из 2-х компонентов: высокоселективного синтетического адсорбента на основе трепелов Зикеевского месторождения Калужской области с закреплёнными в кристаллической решетке элементами минерального питания растений P_2O_5 и K_2O и обогащённого магнием, бором и молибденом, и органического компонента на основе торфа, обогащённого азотом. Доза внесения 9 г/сосуд.

Агронит – адсорбент на основе глауконита с размером пор 20-500 Å. Имеет слоистое строение с поверхностью, обладающей активной адсорбирующей способностью. Адсорбент используется для рекультивации почв и водоёмов. Доза внесения 25 г/сосуд.

Схема опыта:

1. Контроль б/у;
2. NPK;
3. NPK + Cd, Cr, Pb, Zn – фон;
4. фон+Бентонит;
4. фон+Арполит;
- 5.фон+ Супродит;
- 6.фон+Агронит.

Год закладки опыта 2016 г., повторность - пятикратная. Биометрические учёты проводили в соответствии с Программой и методикой [24]. Содержание подвижных Cd, Cr, Pb, Zn в почвенных образцах определяли в 1М HNO₃ вытяжке. Минерализацию растительных проб проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Определение содержания ТМ в почвенных и растительных образцах проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией. На основании полученных данных был рассчитан коэффициент транслокации ТМ, равный отношению содержания тяжёлых металлов в плодах к их соответствующему содержанию в корнях растений. Полученные в опыте данные обрабатывали статистическим методом дисперсионного анализа с использованием пакета программ MS Excel.

Результаты исследований, их обсуждение

Внесение в дерново-подзолистую почву Cd 2 мг/кг, Cr 100 мг/кг, Pb 130 мг/кг, Zn 220 мг/кг оказало существенное воздействие на среднее за четыре года проведения опыта содержание в почве подвижных форм ТМ (табл. 1).

Таблица 1.

Влияние минеральных и полимерных адсорбентов на содержание тяжёлых металлов в почве под растениями земляники садовой, мг/кг, среднее за 2016-2019 гг.

Вариант	Zn	Cr	Cd	Pb
контроль	42,0	2,60	0,39	8,9
НПК	23,4	3,21	0,77	7,0
НПК+Zn,Cr,Cd,Pb-фон	174,1	3,37	2,10	117,0
фон+Бентонит	201,1	3,35	2,09	110,4
фон+Арполит	192,1	3,29	1,69	86,2
фон+Супрадит М	219,5	3,29	0,45	70,1
фон+Агронит	226,7	3,36	0,44	59,8
НСП ₀₅	15,5	$F_{\phi} < F_T$	0,39	14,8

Под воздействием изучаемых адсорбентов отмечалась тенденция снижения содержания в почве подвижных Cr, Cd и Pb. В наибольшей степени снижение их содержания было выражено для адсорбентов Супрадит М (на 78,5 % для кадмия и 40,1 % для свинца, по сравнению с фоном) и Агронит (на 79,0 % для кадмия и на 48,9 % для свинца, по сравнению с фоном). Для подвижного Cr тенденция снижения содержания в почве была статистически недостоверной. Содержание подвижного Zn в вариантах с внесением всех адсорбентов, наоборот, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Супрадит М – на 26,1 %. Возможно, это было связано с большим выносом подвижного Zn из почвы в загрязнённом варианте без применения адсорбентов.

При применении адсорбентов в загрязнённых ТМ вариантах опыта содержание Cd, Cr, Pb, Zn в корнях растений земляники садовой в значительной степени зависело от содержания соответствующих тяжёлых металлов в почве (табл. 2, 5).

Таблица 2.

Влияние минеральных и полимерных адсорбентов на содержание тяжёлых металлов в корнях растений земляники садовой, % от массы сухих корней, 2019 г.

Вариант	Zn	Cr	Cd	Pb
НПК	28,7	6,2	0,29	3,6
НПК+Zn,Cr,Cd,Pb-фон	163,5	20,4	1,98	198,9
фон+Бентонит	156,6	22,3	1,83	93,8
фон+Арполит	173,7	42,0	1,32	98,3
фон+Супрадит М	237,4	23,3	0,69	46,2
фон+Агронит	182,3	20,1	0,68	43,4
НСП ₀₅	32,0	13,3	0,26	24,8

Так же, как и в почве, при применении адсорбентов содержание в корнях Cd и Pb снижалось. В наибольшей степени снижение их содержания в корнях было при внесении адсорбентов Супрадит М (на 65,2 % для кадмия и 76,8 % для свинца, по сравнению с фоном) и Агронит (на 65,7 % для кадмия и на 78,2 % для свинца, по сравнению с фоном). Содержание Zn в корнях в вариантах с внесением адсорбентов, за исключением Бентонита, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Супрадит М – на 45,2 %. Содержание в корнях Cr также имело тенденцию к возрастанию при применении всех адсорбентов, кроме Агронита, в наибольшей степени, при внесении Арполита – на 105,9 %, по сравнению с фоном.

Содержание Cd, Cr, Pb, Zn в листьях растений земляники садовой при применении адсорбентов также значительно зависело от содержания соответствующих тяжёлых металлов в почве (табл. 3, 5).

Таблица 3.

Влияние минеральных и полимерных адсорбентов на содержание тяжёлых металлов в листьях растений земляники садовой, % от массы сухих листьев, среднее за 2016-2019 гг.

Вариант	Zn	Cr	Cd	Pb
контроль	21,8	0,72	0,06	0,68
NPK	12,6	0,53	0,05	0,50
NPK+Zn,Cr,Cd,Pb– фон	25,9	0,73	0,17	0,54
фон+Бентонит	29,1	0,94	0,17	0,92
фон+Арполит	42,4	1,25	0,35	0,79
фон+Супрадит М	31,3	0,81	0,08	0,47
фон+Агронит	32,8	0,83	0,10	0,74
НСР ₀₅	10,5	0,37	0,09	F _φ <F _τ

Аналогично, как и в корнях, при внесении в почву адсорбентов Супрадит М и Агронит содержание в листьях Cd снижалось: при внесении адсорбента Супрадит М на 52,9 %, Агронит – на 41,2 %, по сравнению с фоном. Содержание Zn, Cr, Pb в листьях в вариантах с внесением адсорбентов возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Арполит: на 63,7 % для Zn, на 71,2 % для Cr, на 46,3 % для Pb, по сравнению с фоном. При применении данного адсорбента

содержание в листьях Cd также возросло – на 105,9 % выше загрязнённого фона.

Содержание Cd, Cr, Pb, Zn в плодах земляники садовой при применении адсорбентов менее, чем в корнях и листьях, зависело от содержания соответствующих тяжёлых металлов в почве и не было статистически значимым (табл. 4, 5).

Таблица 4.

Влияние минеральных и полимерных адсорбентов на содержание тяжёлых металлов в плодах растений земляники садовой, % от массы сухих плодов, среднее за 2016-2019 гг.

Вариант	Zn	Cr	Cd	Pb
контроль	14,8	0,54	0,02	0,33
НРК	7,0	0,10	0,02	0,28
НРК+Zn,Cr,Cd,Pb–фон	10,0	0,10	0,10	0,34
фон+Бентонит	9,7	0,28	0,10	0,37
фон+Арполит	9,0	0,21	0,13	0,72
фон+Супрадит М	10,7	0,20	0,07	0,36
фон+Агронит	8,0	0,15	0,06	0,37
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

При применении адсорбентов Супрадит М и Агронит содержание в плодах Cd имело тенденцию к снижению: при внесении адсорбента Супрадит М на 30,0 %, Агронит – на 40,0 %, по сравнению с фоном. При применении адсорбента Арполит содержание в плодах Cd имело тенденцию к возрастанию на 30,0 %, Pb – на 111,8 % от фона. Содержание Cr в плодах в вариантах с внесением адсорбентов возросло по сравнению с загрязнённым фоном: в наибольшей степени, при внесении адсорбента Бентонит – на 180,0 %. Для содержания в плодах Zn выраженной закономерной тенденции действия адсорбентов не отмечалось.

Наиболее тесной взаимосвязь содержания ТМ в органах растений земляники садовой с содержанием подвижных форм тяжёлых металлов в почве наблюдалась для корней и листьев (табл. 5).

Таблица 5.

Коэффициенты корреляции содержания тяжёлых металлов в органах растений земляники садовой с содержанием ТМ в почве

	Zn	Cr	Cd	Pb
корни - почва	0,942	0,279	0,924	0,855
листья - почва	0,817	0,278	0,622	0,443

плоды - почва	0,668	0,223	0,713	0,280
---------------	-------	-------	-------	-------

Для Cr подобная зависимость отсутствовала.

Так как применение различных адсорбентов в опыте не всегда приводило к снижению содержания ТМ в растениях, а часто, наоборот, способствовало их возрастанию, очевидно, что при изучаемых уровнях содержания подвижных ТМ в почве важную роль в аккумуляции тяжёлых металлов выполняют барьерные свойства растений земляники садовой. Коэффициенты транслокации (отношение содержания ТМ в плодах к их соответствующему содержанию в корнях растений) тяжёлых металлов в вариантах опыта, в которых при внесении адсорбентов отмечено снижение содержания в почве подвижных форм ТМ, были выше (табл. 6).

Таблица 6.

Влияние минеральных и полимерных адсорбентов на коэффициенты транслокации тяжёлых металлов в органах растений земляники садовой, 2019 гг.

Вариант	Zn	Cr	Cd	Pb
НПК	0,24	0,016	0,069	0,078
НПК+Zn,Cr,Cd,Pb-фон	0,06	0,005	0,051	0,002
фон+Бентонит	0,06	0,013	0,055	0,004
фон+Арполит	0,05	0,005	0,048	0,007
фон+Супрадит М	0,04	0,009	0,101	0,008
фон+Агронит	0,04	0,007	0,088	0,009
НСР ₀₅	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$	$F_{\phi} < F_{\tau}$

Так, для Cd в варианте с применением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации ТМ были выше фонового значения на 98,0 и 72,5 %, соответственно. Для Pb величины коэффициентов транслокации возрастали при применении данных адсорбентов, по сравнению с фоном, на 300 % и 350 %, соответственно. При повышенном содержании подвижных форм ТМ в почве в вариантах с внесением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации для Zn, по сравнению с фоном, были ниже на 33,3 % и на 33,3 %, соответственно.

Выводы

1. Применение адсорбентов на основе минеральных и полимерных субстратов способствует снижению содержания в почве подвижных Cr, Cd, Pb. В наибольшей степени их содержание снижается при внесении в почву

адсорбентов Супрадит М (на 78,5 % для Cd и 40,1 % для Pb, по сравнению с фоном) и Агронит (на 79,0 % для Cd и на 48,9 % для Pb, по сравнению с фоном). Для подвижного Cr тенденция снижения содержания в почве была статистически недостоверной. Содержание подвижного Zn в вариантах с внесением всех адсорбентов, наоборот, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Супрадит М – на 26,1 %, по сравнению с фоном.

2. Применение адсорбентов приводило к снижению содержания в корнях растений земляники садовой Cd и Pb. В наибольшей степени снижение их содержания в корнях было при внесении адсорбентов Супрадит М (на 65,2 % для кадмия и 76,8 % для свинца, по сравнению с фоном) и Агронит (на 65,7 % для кадмия и на 78,2 % для свинца, по сравнению с фоном). Содержание Zn в корнях в вариантах с внесением адсорбентов, за исключением Bentonита, возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Супрадит М – на 45,2 %. Содержание в корнях Cr также имело тенденцию к возрастанию при применении всех адсорбентов, кроме Агронита, в наибольшей степени, при внесении Арполита – на 105,9 %, по сравнению с фоном.

3. При внесении в почву адсорбентов Супрадит М и Агронит содержание в листьях Cd снижалось: при внесении адсорбента Супрадит М на 52,9 %, Агронит – на 41,2 %, по сравнению с фоном. Содержание Zn, Cr, Pb в листьях в вариантах с внесением адсорбентов возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Арполит: на 63,7 % – для Zn, на 71,2 % – для Cr, на 46,3 % – для Pb. При применении данного адсорбента содержание в листьях Cd также возрастало – на 105,9 % выше загрязнённого фона.

4. Содержание Cd, Cr, Pb, Zn в плодах растений земляники садовой при применении адсорбентов менее, чем в корнях и листьях, зависело от содержания соответствующих тяжёлых металлов в почве и не было статистически значимым. При применении адсорбентов Супрадит М и

Агронит содержание в плодах Cd имело тенденцию к снижению: при внесении адсорбента Супрадит М – на 30,0 %, Агронит – на 40,0 %, по сравнению с фоном. При применении адсорбента Арполит содержание Cd в плодах имело тенденцию к возрастанию на 30,0 %, Pb – на 111,8 % от фона. Содержание Cr в плодах в вариантах с внесением адсорбентов возрастало по сравнению с загрязнённым фоном, в наибольшей степени, при внесении адсорбента Бентонит – на 180,0 %. Для содержания в плодах Zn выраженной закономерной тенденции действия адсорбентов не отмечалось.

5. Наиболее тесной взаимосвязь содержания ТМ в органах растений земляники садовой с содержанием подвижных форм тяжёлых металлов в почве наблюдалась для корней и листьев. Для Cr подобная зависимость отсутствовала.

6. При изучаемых уровнях содержания подвижных ТМ в почве важную роль в аккумуляции тяжёлых металлов выполняют барьерные свойства растений земляники садовой. Коэффициенты транслокации тяжёлых металлов были выше в вариантах опыта, в которых при внесении адсорбентов было отмечено снижение содержания в почве подвижных форм ТМ. Для Cd в варианте с применением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации ТМ были выше фонового значения на 98,0 и 72,5 %, соответственно. Для Pb величины коэффициентов транслокации возрастали при применении данных адсорбентов, по сравнению с фоном, на 300 % и 350 %, соответственно. При повышенном содержании подвижных форм ТМ в почве в вариантах с внесением адсорбентов Супрадит М и Агронит коэффициенты транслокации для Zn, по сравнению с фоном, были ниже на 33,3 % и на 33,3 %, соответственно.

Список литературы

1. Волкова Е.С. Технологические приёмы, обеспечивающие устойчивость агроценозов к тяжёлым металлам/ Органические системы удобрения на загрязнённых почвах/ Методические рекомендации, 2008. – С. 49.

2. Emamverdian A., Ding Y., Mokhberdorran F., Xie Y., Heavy metal stress and some mechanisms of Plant Defense Response/ *The Sci. World J.*, 2015. – P. 18.
3. Галиуллин Р.В., Галиуллина Р.А. Фитоэкстракция тяжёлых металлов из загрязнённых почв/ *Агрохимия*, 2003, № 3. – С. 77- 85.
4. Chauhan P., Mathur J. Phytoremediation efficiency of *Helianthus annuus* L. for reclamation of heavy metals-contaminated industrial soil/ *Environmental Science and Pollution Research*: 2020. 27: 29954-29966. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09233-x>.
5. DalCorso G., Fasani E., Manara A., Visioli G., Furini A. Heavy Metal Pollutions: State of the Art and Innovation in Phytoremediation/ *Int. J. Mol. Sci.* 2019 Jul; 20(14): 3412. doi: 10.3390/ijms20143412.
6. Lone M. I., Zhen-li He, Stoffella P. J., Xiao-e Yang Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives/ *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 2008 Mar; 9(3): 210-220. doi: 10.1631/jzus.B0710633.
7. Бобкова В.В., Коновалов С.Н. К вопросу об эффективности методов прецизионной агроэкологии/ Сб. ВСТИСП «Плодоводство и ягодоводство России, мат. межд. науч.-практ. конф. «Инновационные аспекты агроэкологии в повышении продуктивности растений и качества продукции», М., 15-17 сентября 2014 г., т.ХХХХ, в.1. – с. 49-53.
8. Коновалов С. Н., Бобкова В. В. Влияние органических и минеральных удобрений на усвоение тяжёлых металлов из дерново-подзолистой почвы растениями яблони колонновидной/Отходы, причины их образования и перспективы использования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – С. 250-253.
9. Mathew V.B., Jaishankar M., Biju V.G., Beeregowda K.N. Role of Bioadsorbents in Reducing Toxic Metals/ *Journal of Toxicology*: 2016, V. 2016, Article ID 4369604. – 13 p. <https://doi.org/10.1155/2016/4369604/>.
10. Plyatsuk L. D., Chernysh Y. Y., Ablicieva I. Y., Yakhnenko O. M., Bataltsev E. V., Balintova M., Hurets L. L. Remediation of Soil Contaminated with Heavy

- Metals/ Journal of Engineering Sciences, 2019, V. 6, I. 1. – P. H 1-H 8. DOI: 10.21272/jes.2019.6(1).h1.
11. Stanisławska-Głubiak E., Korzeniowska J., Kocoń A. Effect of the Reclamation of Heavy Metal Contaminated Soil on Growth of Energy Willow/ Pol. J. Environ. Stud.: 2012, V. 21, № 1. – P. 187-192.
 12. Wuana R. A., Okieimen F. E., Imborvungu J. A. Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids/ Int. J. Environ. Sci. Tech., 2010, 7 (3). – P. 485-496.
 13. Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Алексеев Ю.В., Яковлева Л.В. известкование почв, загрязнённых тяжёлыми металлами/ Агрохимия, 2004, №3. – С. 48-54.
 14. Белоголова Г.А., Соколова М.Г., Пройдакова О.А. Влияние почвенных бактерий на поведение химических элементов в системе почва-растение/Агрохимия, 2011, №9. – С. 28-76.
 15. Гарипова С.Р. Перспективы использования эндофитных бактерий в биоремедиации почв агроэкосистем от пестицидов и других ксенобиотиков/ Успехи современной биологии, 2014, №1, т. 134. – С. 35-47.
 16. Васильева В.В., Попова О.В., Сидоренко Д.О., Ботвинко И.В. Биопрепарат для восстановления городских почв, загрязнённых углеводородами и тяжёлыми металлами: бактерии или дрожжи?/ Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2014, №7. – С. 24-28.
 17. Mohammad Kashif Uddin A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade/ Chemical Engineering Journal: 2017, 308. – P. 438-462. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.09.029>.
 18. Pusz A. Influence of brown coal on limit of phytotoxicity of soils contaminated with heavy metals/ J. of Hazardous Materials, 2007, V. 149, I. 3. – P. 590-597. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.06.115>.
 19. Ветрова О. А., Мертвищева М. Е. Влияние цеолита на содержание тяжёлых металлов в почве при выращивании земляники в условиях техногенного

- загрязнения // Комплексное применение средств химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии. М.: ВНИИА, 2010. – С. 35-38.
20. Ponizovskii A.A., Tsadilas K.D., Dimoyanis D.D. The use of zeolite for the detoxification of lead-contaminated soils/ *Eurasian Soil Science*, 2003, 36(4). – P. 439-443.
21. Qiulong Hu†, Wei-ai Zeng†, Fan Li, Yanning Huang, Songsong Gu, Hailin Cai, Min Zeng, Qiang Li, Lin Tan Effect of Nano Zeolite on the Transformation of Cadmium Speciation and Its Uptake by Tobacco in Cadmium-contaminated Soil/ *Open Chem.*, 2018, 16. – P. 667-673.
22. Коновалов С.Н. Применение влагоудерживающих полимерных гидрогелей в качестве микроудобрения пролонгированного действия и детоксиканта ТМ на яблоне/ Сб. тр. ВСТИСП, 2002, Т. 9. – С. 343-354.
23. Aabid H. Shalla, Zahid Yaseen, Mushtaq A. Bhat, Tauseef A. Rangreez & Masrat Maswal: Recent review for removal of metal ions by hydrogels/ *Separation Science and Technology, Water Science & Technology* 2018, 73(5): wst2015567. DOI: 10.1080/01496395.2018.1503307.
24. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур//Под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орёл. ВНИИСПК, 1999. – С. 608.