

УДК 634.232:581.5:591

ПОДВИЖНОСТЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ТОМАТА (В УСЛОВИЯХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Г.Е. ШУМАКОВА

(Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт
им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Проведены опытные исследования по выращиванию томатов на двух площадях в условиях незащищенности (Б. Салы) и защищенности (Таганрог-Мариуполь) лесной полосой вблизи автомобильных трасс Приазовья и на двух контрольных площадках вне влияния автодорог, но при мелиорации томатов разным составом воды. Впервые установлено, что в условиях влияния загрязнения автомагистралями не только подтверждается известный факт повышенных концентраций тяжелых металлов в томатах (листьях и стеблях, плодах и семенах), но и меняется их структура в рядах подвижности элементов. Это влияние сказывается и при мелиорации разным составом поливной воды. Эффект самоорганизации агропродукции на примере томатов в лесомелиоративных системах приводит к лавинному сбросу тяжелых металлов не только в листья и стебли растений, но и в оболочку семян томатов. При этом ядра семян томатов не только защищаются от избыточного загрязнения их тяжелыми металлами, но и создают условия высокой прочности оболочки семян, способных защищать их ядра от различных влияний окружающей среды.

Выдвинутая рабочая гипотеза о влиянии качества окружающей среды на процессы накопления и рассеяния тяжелых металлов в течение вегетационного периода томатов, а также на структуру подвижности тяжелых металлов подтверждается смещением в структуре подвижности рядов металлов относительно более подвижного Mn и более инертного Fe. Чем выше уровень загрязнения окружающей среды, тем большее смещение металлов к инертному Fe, что быстрее провоцирует их сброс в стебли и семена томатов. Ряды подвижности тяжелых металлов при переходе их от водорастворимых соединений почвы в томаты испытывают инверсию, что и определяет минимальное поступление тяжелых металлов в томаты. Поэтому плоды томатов, выращенные на всех участках, имеют содержание тяжелых металлов ниже кларка растений, т.е. экологически чистые.

Ключевые слова: агромелиорация, лесная полоса, тяжелые металлы, водорастворимые соединения, почва, подвижность металлов, самоорганизация, плоды томатов, семена томатов, оболочка семян.

Специалисты в области исследования загрязнений в экосистемах работают над проблемой, которая связана с причинами накопления тяжелых металлов растениями, минуя семена [13]. Обычно исследователи приводят только превышения концентраций элементов в тех или иных растениях относительно источников загрязнения, не рассматривая саму динамику изменения подвижности элементов на пути их миграции: почва; водорастворимые соединения, которые только и могут

в основном усваивать растения в подвижной форме; стебли растений; реже — семена растений.

Авторы решили усложнить эксперимент с целью решения проблемы механизма загрязнения тяжелыми металлами томатов в условиях их мелиорации и в обстановке разной степени защищенности площадок лесополосой и ответить на ряд сложных вопросов стоящих перед биогеохимией растений [6].

Рабочая гипотеза выдвигается на стыке агрохимии, мелиорации, влияния лесополос на степень загрязнения мелиорированных агрокультур в рамках синергетики с влиянием внешних воздействий на агромелиорированную экосистему с оценкой реакции внутренних коллективных сил на это воздействие. Другими словами, в основе рабочей гипотезы лежит закон внутреннего динамического равновесия. Ее сущность заключается в следующем. В условиях мелиорации и разной степени защищенности мелиорированной агрокультуры от внешних воздействий окружающей среды в составе разных частей выращенной агропродукции должна отразиться динамика структуры накопления и рассеяния тяжелых металлов в их рядах подвижности, т.е. будет нарушаться равновесие в случае внешних воздействий [7]. В этом смысле если этот механизм будет действительно установлен, то возникает важное практическое следствие: по степени отражения подвижности тяжелых металлов в составе их миграционных рядов становится возможным не только оценить факторы загрязнения, но и определить их источники при накоплении в разных частях растений за весь период вегетации.

Целью исследования является проверка сформулированной выше гипотезы о возможном влиянии внутренних и внешних факторов среды (почвы, поливной воды, загрязнениями атмосферного воздуха автомагистралями) на миграционные свойства подвижности тяжелых металлов [8] в условиях агролесомелиоративных систем с позиции синергизма (самоорганизации агролесомелиорированных экосистем), чтобы ответить на главный вопрос о причинах возможного смещения равновесий в подвижности металлов при их накоплении в растениях на примере томатов [11].

Методика выбора экспериментальных площадок и исследования гипотезы (проблемы). На четырех экспериментальных площадках проведены исследования по влиянию качества окружающей среды при мелиорации томатов районированного сорта «Волгоградский 5/95». Задача включала в себя проверку гипотезы о влиянии факторов среды (состав почвы, поливной воды, эффект загрязнения автомагистралями) на миграционные свойства подвижности тяжелых металлов в условиях агролесомелиорированных систем с позиции синергизма. Объектом исследования явились томаты сорта «Волгоградский 5/95» как наиболее распространенная и районированная культура в Приазовье.

Для этого были выбраны четыре площадки. Первая площадка, Б. Салы, располагается вблизи автотрассы Ростов–Таганрог в 10–15 м от нее и не защищена лесополосой. Поливная вода бралась из близрасположенного пруда, который имеет гидродинамическую связь с артезианскими подземными водами. Вторая площадка расположена в 15 м от автотрассы (Таганрог — Мариуполь), защищена лесной полосой. Вода для полива бралась из р. Миус, которая также имеет гидродинамическую связь с подземными (артезианскими) водами и близка к минеральному составу Б. Салы. Выбор этих площадок предполагал оценку влияния защитной функции лесополосы от влияния внешних воздействий окружающей среды на выращивание томатов и попытку оценить степень этого влияния на подвижность тяжелых металлов, усвояемых томатами.

Третья и четвертая площадки, Дача 1 и Дача 2, выбраны как фоновые. При этом полив томатов проходил в условиях разного состава воды. Полив площадки Дача 1 производился водой из артезианской скважины (близкой по составу с водами Таганрог — Мариуполь, Б. Салы) и водопроводной водой. Такой выбор этих двух площадок предполагал оценку подвижности тяжелых металлов в условиях фона, исключающего внешние влияния загрязнения со стороны автотрасс.

Методика отбора проб для анализа включала в себя заготовки образцов листьев и стеблей томатов, плодов томатов, их семян, образцов почвы и поливной воды.

В стандартных условиях образцы проб взвешивались, подвергались золению. Зола образцов анализировалась в Эколого-аналитической лаборатории РосНИИПМ на приборе ААС Квант-2. Чувствительность анализа водных проб составляла 1–10 мкг/л, ошибка — 0,15 мкг/л. Возможные пределы содержаний Pb, Cd в массе растений составляли 0,1–10 мг/кг, Fe — 10–200 мг/кг, Zn, Cu, Ni, Co — 1,0–200 мг/кг. Анализы выполнялись в одной лаборатории и одним составом исполнителей, что исключает наличие случайных и приборных ошибок при измерениях концентраций тяжелых металлов.

Все образцы анализировались на комплекс токсичных элементов [2]: Pb, Mn, Cd, Ni, Co, а также Cu, Zn, Fe.

Обсуждение результатов. Средние концентрации тяжелых металлов в исследуемых почвах, водорастворимых соединений тяжелых металлов в ней [12], а также в разных составных частях томатов приведены в таблице 1. На всех исследуемых площадках поливная вода (табл. 2), имеющая хлоридно-, сульфатно-гидрокарбонатный состав (табл. 3) с фоновыми концентрациями в ней катионов Ca, Mg, K, Na и pH от 7,2 до 7,4 ед., с общей минерализацией от 1,1 (контрольная площадка Дача 2) до 2,6–2,8 г/л (умеренно загрязненные воды площадок Б. Салы, Таганрог–Мариуполь), характеризуется наличием Cd на уровне 0,00021–0,00069 мг/кг, не превышающих ПДК для воды питьевого качества, но превышающих требования ВОЗ к чистым водам в 1,1–2,5 раза. Остальной набор исследуемых тяжелых металлов находится в пределах ПДК вод, используемых в мелиорации.

Концентрации тяжелых металлов в почвах близки или превышают в 1,1–1,5 (для Pb, Ni, Co) и 2,5 (для Zn, Cu) средние содержания элементов в почвах Приазовья. Качественный и количественный состав тяжелых металлов наследуется составом водорастворимых соединений в ней, а также плодами томатов в рамках известного принципа периодичности накопления и рассеяния элементов в рамках их распространенности в земной коре и на разных уровнях вещества [4, 5].

Общая характеристика примесного состава тяжелых металлов в исследуемых образцах почвы, подвижных соединений в почве, поливной воды и томатах экспериментальных площадок

1. Исследуемые образцы почвы с разных горизонтов на всех площадках разнятся по количеству примесей в них тяжелых металлов, которые близки к кларкам земной коры и почвам, а также средним значениям концентрации элементов Приазовья. Незначительные превышения концентраций Pb, Co, Cu относительно кларков отмечаются в почве площадок Б. Салы не защищенной лесной полосой, и защищенной лесной полосой Таганрог–Мариуполь, где наиболее низкие суммарные концентрации изучаемого спектра тяжелых металлов по сравнению с другими площадками, хотя уровень влияния загрязнений на площадке Б. Салы выше. Наибольшие концен-

Концентрации тяжелых металлов (мг/кг) в томатах относительно их подвижных водорастворимых соединений в почвенной влаге в различных условиях орошения, состава воды и защищенности лесополосой площадках

Объект	(S)	%	Pb	Mn	Cd	Ni	Zn	Co	Cu	Fe
<i>Б. Салы. Площадка не защищена лесополосой. От автотрассы отстоит на 15 м. Поливаемая вода из пруда</i>										
Почва	3725,574	100	11,181	435,937	0,227	21,044	76,25	9,375	21,56	3150,0
Подвижные водорастворимые соединения почвы	350,019	9,4	0,54	346,76	0,0175	0,504	0,486	0,112	0,19	1,578
Усвоенные из подвижных водорастворимых соединений почвы:	461,109	100	0,868	16,623	1,177	2,078	117,125	0,343	16,93	306,025
В т.ч.: стеблями	190,351	41,28	0,655	5,625	0,203	0,555	3,750	0,343	2,975	176,250
плодами	19,298	4,18	0,123	2,248	0,024	0,048	4,625	Не обн.	1,705	10,525
семенами	251,845	54,61	0,090	8,750	0,950	1,475	108,750	Не обн.	12,580	119,250
оболочками семян	232,58	50,4	-0,033	6,502	0,926	1,427	104,125		10,875	108,725
<i>Таганроз-Мариуполь. Защищена лесополосой. Отстоит от нее на 15 м. Поливаемая вода из р. Миус</i>										
Почва	4811,529	100	19,463	912,5	0,157	16,176	352,782	8,326	120,875	3381,25
Подвижные водорастворимые соединения почвы	362,566	7,53	1,838	339,938	0,011	0,829	15,999	0,336	2,605	1,019
Усвоенные из подвижных водорастворимых соединений почвы:	440,208	100	1,276	14,32	0,264	1,07	88,515	0,118	19,42	315,225
В т.ч.: стеблями	242,971	55,19	1,218	6,175	0,105	0,605	18,000	0,118	3,000	213,750
семенами	183,44	41,67	Не обн.	7,400	0,140	0,300	70,000	Не обн.	14,600	91,000
плодами	13,797	3,13	0,058	0,745	0,019	0,165	0,515	Не обн.	1,820	10,475
оболочками семян	169,643	38,54	0,057	6,655	0,121	0,135	69,485	Не обн.	1,278	8,052

Объект	(S)	%	Pb	Mn	Cd	Ni	Zn	Co	Cu	Fe
<i>Дача 1. Отсутствует влияние автомагистралей. Поливная (артезианская) вода из скважины</i>										
Почва	4491,214	100	17,469	1007,5	0,33	19,813	362,813	9,351	30,188	3043,75
Подвижные водорастворимые соединения почвы	199,67	4,44	1,255	178,76	0,0165	0,58	17,33	0,228	0,412	1,087
Усвоенные из подвижных водорастворимых соединений почвы:	417,217	100	0,401	12,253	0,474	1,398	103,37	0,063	25,718	273,54
В т.ч.: стеблями	204,404	48,99	0,343	4,125	0,130	0,368	36,500	0,063	9,125	153,75
плодами	9,823	2,35	0,058	0,753	0,019	0,030	1,870	He обн.	1,593	5,500
семенами	202,925	48,64	He обн.	7,375	0,325	1,000	65,000	He обн.	15,000	114,250
оболочками семян	193,185	46,3	He обн.	6,622	0,306	0,97	63,13	He обн.	13,407	108,75

Дача 2. Отсутствует влияние автомагистралей. Поливная вода водопроводная

Почва	5073,804	100	17,244	1061,563	0,122	18,019	355,313	8,73	34,688	3578,125
Подвижные водорастворимые соединения почвы	221,72	4,37	0,919	200,288	0,011	0,573	15,827	0,274	2,678	1,15
Усвоенные из подвижных водорастворимых соединений почвы:	593,444	100	0,558	14,011	0,331	1,756	63,87	0,115	14,353	498,45
В т.ч.: стеблями	433,644	73,072	0,498	2,488	0,200	1,593	12,500	0,115	2,500	413,750
плодами	18,474	3,11	0,060	1,198	0,013	0,060	5,120	He обн.	2,323	9,700
семенами	141,326	23,81	He обн.	10,325	0,118	0,103	46,250	He обн.	9,530	75,000
оболочками семян	116,91	19,7	He обн.	9,127	0,105	0,043	41,13	He обн.	7,207	65,3

Примечание. Здесь (S) сумма концентраций элементов в объектах исследования, мг/кг. % — доля суммы тяжелых металлов в них. Расчет концентраций в оболочках семян как разность концентраций элементов в семенах и плодах томатов.

Концентрации тяжелых металлов в поливных водах, мг/л

Экспериментал. площадка	Источник поливной воды	Pb	Mn	Cd	Ni	Zn	Co	Cu	Fe
Б. Салы	Пруд (Б. Салы)	Не обн.	0,0121	0,00069	Не обн.	0,033	Не обн.	Не обн.	0,243
Таганрог–Мариуполь	р. Миус	Не обн.	Не обн.	0,00021	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,0255
Дача 1	Артезианская из скважины	Не обн.	Не обн.	0,00044	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,0007
Дача 2	Водопроводная	Не обн.	0,01339	0,00068	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,0160

Солевой состав образцов воды (в пересчете на 1 дм³), 1 мг-экв = 1 °Ж

№ пробы	Тип поливной воды	Cl ⁻ , г / мг-экв	SO ₄ ²⁻ , г / мг-экв	HCO ₃ ⁻ , г / мг-экв	Ca ²⁺ , г / мг-экв	Mg ²⁺ , г / мг-экв	Na ⁺ , г / мг-экв	K ⁺ , г / мг-экв	Сумма ионов, г	Сухой остаток, г	pH
1	Пруд (тр. Б. Салы-Щепкин)	0,355	1,731	0,141	0,228	0,179	0,503	0,012	3,149	2,840	7,65
		10,00	36,07	2,32	11,40	14,80	21,87	0,32			
2	Р. Миус (лиман)	0,610	1,079	0,234	0,080	0,109	0,693	0,015	2,820	2,596	7,86
		17,20	22,48	3,84	4,00	9,00	30,13	0,39			
3	Артезианская скважина	0,227	1,817	0,444	0,220	0,148	0,649	0,005	3,510	3,200	7,39
		6,40	37,86	7,28	11,00	12,20	28,21	0,13			
4	Водопроводная (Таганрог)	0,184	0,534	0,224	0,096	0,089	0,177	0,005	1,309	1,128	8,22
		5,20	11,14	3,68	4,80	7,40	7,69	0,13			

трации суммарного спектра тяжелых металлов в почвах устанавливаются для площадок Таганрог–Мариуполь (защищенной лесополосой), Дача 1 и Дача 2. Превышение относительно кларка почв для них устанавливается не только для свинца, меди, кобальта, но и цинка. Его содержание превышает кларк почв в 7 раз, т.е. обнаруживается обычная положительная корреляция между суммарным составом спектра тяжелых металлов в почвах и уровнем превышения содержаний элементов относительно кларка почвы. Эта корреляция сохраняется и в составе водорастворимых соединений. Чем выше суммарная концентрация исследуемого спектра металлов, тем выше концентрации их в составе водорастворимых соединений. Это отражает известное положение о том, что основным источником водорастворимых соединений в почве является химический состав почвы, а водорастворимые соединения почвы — источником поступления тяжелых металлов в выращенные томаты.

В рамках выдвинутой нами гипотезы важно проследить, как отражаются на примесном составе томатов разный состав поливной воды и разная экологическая обстановка их выращивания. Каков механизм поведения тяжелых металлов в рядах их подвижности в составе листьев и стеблей, плодов и семян томатов относительно водорастворимых соединений? Будут ли оказывать внешние экологические факторы (влияние автотрасс, состав поливной воды) на внутренние биогеохимические свойства подвижности металлов в изучаемых объектах мелиорации?

Следствие. Если между суммарным составом исследуемых элементов в почвах, их водорастворимыми соединениями и металлами усвоенными стеблями и листьями, плодами и семенами томатов на контрольных площадках (вне загрязнения автотрассами) обнаруживается положительная значимая корреляция, а на площадках разной степени защищенности от влияния автотрассы корреляция несущественна, внешний фактор качества окружающей среды отразился на состоянии агроэкомелиорированной системы в точном соответствии с принципами синергетики и законом внутреннего динамического равновесия, следствиями которых являются:

- любое внешнее воздействие на агроэкосистемы неизбежно приведет к развитию в ней реакций, направленных в сторону нейтрализации произведенного внешнего воздействия, или приведет к новому ее состоянию (например, загрязнению);

- согласно принципу синергетики любое слабое воздействие одного из показателей на состояние агроэкосистемы (загрязняющее влияние автотрасс, разный состав поливной воды) может вызвать сильные отклонения или изменения во всей системе в целом и отразится на микроэлементном составе агропродукции.

2. В исследуемых образцах почвы в водорастворимых соединениях устанавливаются повышенные концентрации токсичных элементов кадмия и свинца на уровне незначительного превышения кларка почвы, но ниже ПДК для питьевой воды (ПДК для питьевой воды: Zn — 1,0 мг/л, Cu — 1,0 мг/л, Cd — 0,01 мг/л, Pb — 0,03 мг/л), т.е. в целом почвы исследуемых площадок можно отнести к умеренно-загрязненным вместе с поливной водой (табл. 2, 3), так как, несмотря на то, что в поливной воде устанавливаются концентрации кадмия гораздо ниже ПДК, но по данным ВОЗ, в незагрязненных (чистых) природных водах содержание кадмия должно быть меньше 1 мкг/л (или порядка 0,00002–0,0003 мг/л), т.е. поливная вода района исследований превышает нормы ВОЗ в 2–34 раза. Наиболее загрязненной является водопроводная вода и вода из пруда Б. Салы. Причина повышения концентраций на площадке Б. Салы связана с отсутствием экранирующей роли лесной полосы. Источником кадмия могут служить шины автомобильного транспорта, в состав которых входят соедине-

ния кадмия. Истирание шин о полотно дороги приводит к миграции кадмия в природную экосистему.

В водопроводной воде повышенные концентрации Cd связаны с возможной коррозией оцинкованных труб, так как повышение концентраций цинка обычно сопровождается повышением содержаний в воде кадмия как следствия их парагенетической геохимической связи [16].

Под накоплением тяжелых металлов понимались такие их концентрации, которые не только превышали кларки почв, воды, растений и ПДК, но и находились выше уровня концентраций в растениях (стеблях и листьях, плодах, семенах томатов) относительно подвижных водорастворимых соединений в почве.

Под рассеянием понимались такие концентрации тяжелых металлов, которые либо не устанавливались аналитическими методами в объектах исследования, либо их концентрации в томатах находились ниже кларков почв, воды, растений и ПДК, а также ниже концентраций в составе водорастворимых соединений. Априори вне влияния загрязняющих факторов окружающей среды растения могли усваивать только те металлы, концентрации которых могли находиться в почвенной влаге, т.е. в составе подвижных водорастворимых соединений.

Анализ результатов накопления и рассеяния тяжелых металлов в выращиваемых томатах в условиях мелиорации на площадке Б. Салы (не защищенной лесополосой), Таганрог–Мариуполь (защищенной лесной полосой) показывает следующее.

1. В идеальном случае, если нет иного источника загрязнений при выращивании томатов, включая поливную воду, то растения могут усвоить только те водорастворимые соединения тяжелых металлов, которые находятся в составе почвенной влаги.

Средние концентрации металлов в составе водорастворимых соединений в почве Б. Салы составляют 461,109 мг/кг. Это всего лишь 9,4% от общего количества элементов, находящихся в водорастворимых соединениях почвы из всего состава почвы. Однако для площадки Б. Салы общее количество усвоенных металлов томатами металлов составляет 461,109 мг/кг против 350,019 мг/кг водорастворимых соединений. Следовательно, избыток усвоенного количества металлов томатами $461,109 - 350,019 = 111,09$ мг/кг.

Источником этого количества загрязнений не может быть почвенная влага. Значит, это количество металлов является следствием загрязнения почвы составом поливной воды и аэрозолями, исходящими от автотрассы Б. Салы, не защищенной лесополосой. Отношение $461,109 : 350,019 = 1,32$ характеризует, во сколько раз превышают концентрации суммы исследуемых тяжелых металлов в томатах площадки Б. Салы по отношению к сумме таковых, установленных в водорастворимых соединениях, которые могли быть усвоены томатами (табл. 1).

Согласно результатам анализа таблицы 1 загрязнение свинцом площадки Б. Салы в 1,61 раза выше, чем на площадке Таганрог–Мариуполь, в условиях близких значений концентраций тяжелых металлов в составе водорастворимых соединений. Загрязнение остальными металлами площадки Б. Салы также намного выше загрязнений площадки Таганрог–Мариуполь.

Общее превышение загрязнения на площадке Б. Салы относительно площадки Таганрог–Мариуполь устанавливается по величине усвоения общего количества тяжелых металлов из водорастворимых соединений почвы в Б. Салах (461,109 мг/кг) по сравнению с площадкой Таганрог–Мариуполь (440,208 мг/кг).

461,109 — 440,208 = 20,901 мг/кг превышает всего на 4,5% загрязнение томатов площадки Б. Салы относительно выращенных на площадке Таганрог–Мариуполь.

Таким образом, несмотря на малую защитную функцию лесополосы, на площадке Таганрог–Мариуполь по отношению к водорастворимым соединениям их в почве в зоне влияния не устанавливается в пределах чувствительности анализа в плодах томатов свинец, марганец и кобальт. Лесополоса их поглощает. На площадке Б. Салы, кроме того, что устанавливается свинец, никель, в томатах обнаруживается превышение концентраций относительно площадки Таганрог–Мариуполь Cd, Ni, Zn при близких значениях концентраций Fe, Cu на обеих площадках.

Цель эксперимента по выбору двух контрольных площадок Дача 1, Дача 2 состояла в том, чтобы изучить поведение тяжелых металлов в условиях отсутствия внешнего (автотрасс) загрязнения, но при условии, что мелиорация томатов будет происходить в условиях разного качества поливной воды.

Площадка Дача 1 орошалась артезианской водой, а площадка Дача 2 — водопроводной. Ионно-катионный состав, рН поливных вод и микроэлементный состав отражены в таблицах 2, 3.

Для чего выбор пал на эти два вида поливной воды?

Во-первых, вода артезианской скважины, как уже указывалось выше, связана с водным пластом достаточно высокой минерализации воды, который (пласт) участвует в питании вод р. Миус (площадка Таганрог–Мариуполь) и воды пруда (Б. Салы). В этом смысле снятие фона влияния загрязнения автотрасс позволит установить роль качества поливной воды при мелиорации участков Б. Салы и Таганрог–Мариуполь.

Если обратиться к таблицам 2 и 3, то очевидно, что по ионно-катионному составу и тяжелым металлам вода действительно близка, что подтверждает гидродинамическую связь поливных вод с единым артезианским водным пластом. Однако в составе поливной воды Б. Салы и Таганрог–Мариуполь устанавливаются и различия. Так, вода из пруда Б. Салы более чем в три раза отличается насыщенностью Cd, в ней устанавливается Zn и Mn при близких концентрациях Fe. Это сказывается на концентрациях Cd в составе водорастворимых соединений почвы площадки Б. Салы, в которой содержание этого элемента в 1,6 раза выше концентраций (0,0175 мг/кг) водорастворимых соединений в почве площадки Таганрог–Мариуполь (0,011 мг/кг). Установлено, что в составе усвоенных концентраций Cd томатами на площадке Таганрог–Мариуполь выше (0,264 мг/кг), чем на площадке Б. Салы (0,177 мг/кг), в 1,5 раза. Это требует объяснения.

Обратившись к таблицам 1–3, можно заметить, что если концентрации Cd в почве площадки Б. Салы составляют 0,227 мг/кг, то на площадке Таганрог–Мариуполь — 0,157 мг/кг, т. е. в 1,44 раза выше. Но общий уровень минерализации в почве площадки Таганрог–Мариуполь (4811,529 мг/кг) по сравнению с площадкой Б. Салы (3725,574 мг/кг) в 1,3 раза выше. Следовательно, в процессе полива часть Cd может дополнительно мигрировать из почвы и усваиваться томатами посредством дополнительного растворения минеральной составляющей почвы, либо лесная полоса в состав трассы Таганрог–Мариуполь не задерживает Cd, источником которого, как мы уже указывали выше, могут быть изнашивающиеся шины автомобилей, и поливная вода здесь не играет роли, поскольку концентрация Cd в поливной воде пруда Б. Салы почти в 3 раза выше концентраций в воде р. Миус, из которой бралась вода для полива томатов. На самом деле лесополоса выполняет свои защитные функции. Следовательно, источником загрязнения кадмия является поливная вода.

2. Возвращаясь к эксперименту орошения томатов на фоновых площадках Дача 1 и Дача 2, необходимо обратить внимание на следующее.

В составе общей суммы усвоенных тяжелых металлов томатами при поливе артезианской водой из скважины (417,217 мг/кг) превышение относительно растворимых подвижных соединений в почве (199,67 мг/кг) достигает 2,1 раза. Снова стоит вопрос об источниках загрязнения тяжелыми металлами, но теперь уже на фоновых площадках.

Обратившись снова к таблицам 1–3, видим, что относительно подвижных водорастворимых соединений почвы в томатах не накапливаются свинец, марганец, кобальт, зато все остальные элементы Cd, Ni, Zn, Cu и Fe накапливаются. Но их содержание находится в пределах ПДК. Поскольку водопроводные трубы артезианской скважины могут состоять из оцинкованного железа, а в составе железных труб всегда присутствует Ni как лигирующая добавка к стали, то источником загрязнения томатов при поливе томатов может служить именно состав окисляющихся труб скважины и водопроводных труб при поливе. Превышение концентраций кадмия в составе томатов явно связано с качеством поливной воды, в которой концентрации Cd повышенные.

Аналогичная картина наблюдается на площадке Дача 2, где томаты орошались водопроводной водой. Не устанавливается превышение Pb, Mn, Co относительно подвижных водорастворимых соединений в почве, кроме Cd, Ni, Zn, Cu и Fe. Источник поступления этих металлов тот же — водопроводные трубы, а повышение концентраций Cd относительно кларка растений, но не ПДК, связано с составом поливной воды.

3. Установлены интересные данные накопления и рассеяния тяжелых металлов из подвижных водорастворимых соединений почвы в разные части растений. Устанавливается единая динамика накопления и рассеяния тяжелых металлов для всех площадок вне состава почвы, водорастворимых соединений в ней, поливной воды (рис. 1, 2). Это может означать наличие единой закономерности:

- в превышении суммарной концентрации тяжелых металлов в составе усвоенных элементов томатами над водорастворимыми соединениями в почве. Это связано с тем, что существуют (кроме подвижных водорастворимых соединений тяжелых металлов) внешние источники загрязнений;

- в превышении концентраций всех тяжелых металлов в составе стеблей, семян и оболочек семян, при наиболее низких концентрациях их в составе самих плодов.

В процессе вегетации в условиях мелиорации сами плоды томатов, ядрышки семян остаются практически стерильными по отношению к стеблям и оболочкам семян вне зависимости от того, в какой обстановке качества окружающей среды выращивались томаты, каким качеством воды они орошались.

4. Поведение тяжелых металлов в рядах их подвижности относительно наиболее подвижного Mn и инертного Fe в процессе вегетации томатов в направлении: почва, подвижные водорастворимые соединения почвы, стебли и листья томатов, плоды томатов, семена томатов, оболочка семян, ядро семян — на разных экспериментальных площадках иллюстрируется ниже. Ранжирование рядов подвижности осуществлялось на основе определения рангов по отношению концентрации подвижных водорастворимых соединений металлов к почве; стеблям и листьям томатов; плодам томатов; семенам; оболочкам семян; ядрышкам семян (табл. 4).

В идеальном случае в естественных условиях (без мелиорации, вне влияния различных источников загрязнения) томаты должны усваивать химические элементы

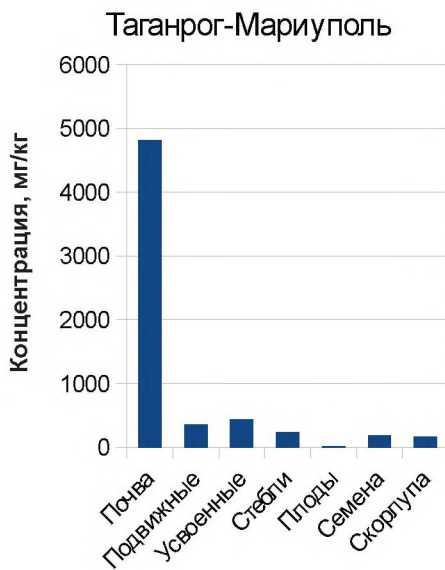
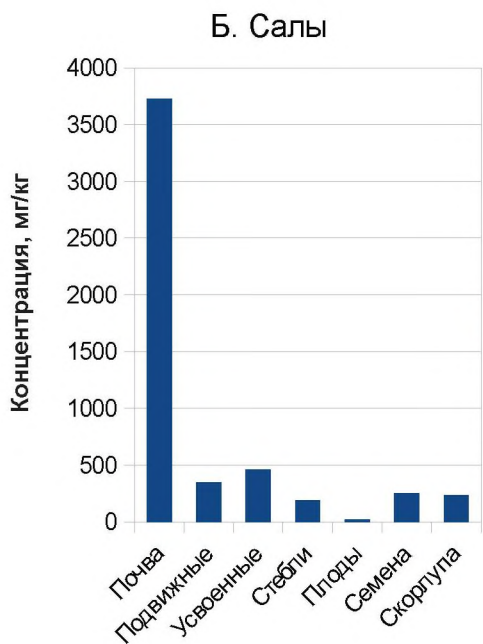


Рис. 1. Соотношение концентраций элементов на площадках Б. Салы, не защищенной лесополосой, и Таганрог–Мариуполь, защищенной лесополосой

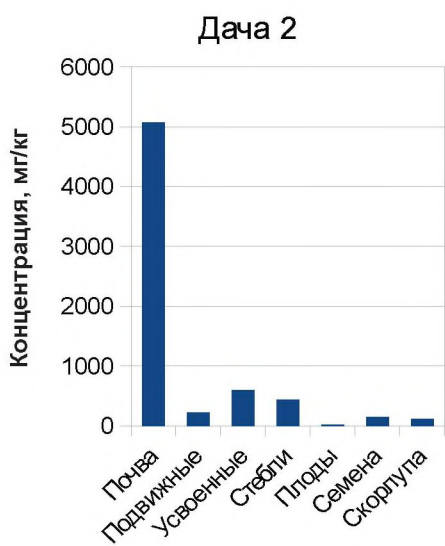
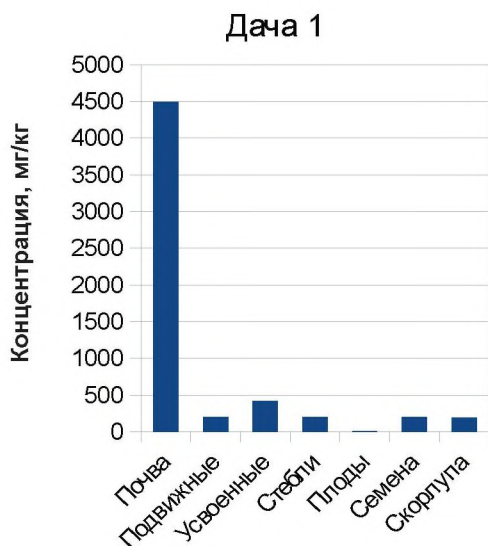


Рис. 2. Соотношение концентраций элементов на фоновых площадках эксперимента с разным составом поливной воды: Дача 1 — артезианская; Дача 2 — водопроводная вода

в порядке их подвижности в установленном миграционном ряду водорастворимых соединений в почве. При этом структура рядов подвижности химических элементов будет зависеть не только от состава почвы, но и от обстановки их выращивания относительно лесных полос, орошения разным составом воды, т.е. в рамках закона внутреннего динамического равновесия и принципа Ле Шателье-Брауна: если на экологическую систему оказываются внешние воздействия, то это воздействие должно сместить существующее равновесие в ту или другую сторону от исходного состояния системы. Это смещение непременно скажется на структуре подвижности металлов в рядах подвижности относительно самого подвижного Mn и наиболее инертного Fe в составе разных частей растений (стеблях и листьях, плодах томатов и семенах, оболочке и ядрышках семян).

Т а б л и ц а 4

Сравнение рядов подвижности тяжелых металлов

<i>Б. Салы</i>	
1.	Mn(0,795) — Cd(0,077) — Pb(0,048) — Ni(0,024) — Co(0,012) — Cu(0,009) — Zn(0,006) — Fe(0,00005)
2.	Mn (61,64) — Ni(0,908) — Cd(0,86) — Pb(0,824) — Co(0,326) — Zn(0,13) — Cu(0,064) — Fe(0,0089)
3.	Mn(154,25) — Ni(10,5) — Pb(4,39) — Cd(0,729) — Co(0,326) — Fe(0,15) — Cu(0,111) — Zn(0,105)
4.	Mn(39,62) — Pb(6,0) — Co (> 1,0) — Ni(0,342) — Cd(0,018) — Cu(0,015) — Fe(0,0132) — Zn(0,0045)
5.	Mn(51,08) — Ni(6,14) — Cu(2,03) — Pb(>>1,0) — Co (> 1,0) — Zn(0,23) — Fe(0,126) — Cd(0,09)
6.	Mn(160,166) — Ni(14,823) — Pb(4,426) — Cd(1,207) — Co (> 1,0) — Fe(0,169) — Zn(0,137) — Cu(0,12)
<i>Таганрог — Мариуполь</i>	
1.	Mn(0,372) — Pb(0,094) — Cu(0,02) — Cd(0,007) — Ni(0,0051) — Zn(0,0045) — Co(0,0040) — Fe(0,0003)
2.	Mn(80,501) — Co(2,382) — Pb(1,845) — Zn(1,382) — Cu(0,002) — Ni(0,36) — Cd(0,055) — Fe(0,003)
3.	Mn(455,033) — Pb(31,69) — Zn(31,066) — Ni(5,024) — Cu(1,431) — Co(>>1,0) — Cd(0,579) — Fe(0,092)
4.	Mn(45,93) — Ni(2,763) — Pb(>>1,0) — Co(>>1,0) — Zn(0,228) — Cu(0,178) — Cd(0,078) — Fe(0,0112)
5.	Mn(51,08) — Ni(6,14) — Cu(2,03) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) — Zn(0,23) — Cd(0,09) — Fe(0,0126)
6.	Mn(461,24) — Zn(31,43) — Ni(5,08) — Cu(1,445) — Pb(>>1,0) — Co(>>1,0) — Fe(0,982) — Cd(0,611)

<i>Дача 1</i>
1. Mn(0,177) — Pb(0,072) — Cd(0,05) — Zn(0,048) — Ni(0,029) — Co(0,024) — Cu(0,014) — Fe(0,0003)
2. Mn(43,33) — Pb(3,659) — Co(3,619) — Ni(1,576) — Zn(0,475) — Cd(0,127) — Cu(0,045) — Fe(0,007)
3. Mn(237,4) — Pb(21,63) — Ni(19,333) — Zn(9,267) — Co(>>1,0) — Cd(0,868) — Cu(0,259) — Fe(0,198)
4. Mn(24,238) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) — Ni(0,58) — Zn(0,267) — Cd(0,051) — Cu(0,0274) — Fe(0,0095)
5. Mn(26,995) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) Ni(0,597) — Zn(0,275) — Cd(0,054) — Cu(0,0307) — Fe(0,0099)
6. Mn(239,95) — Pb(22,017) — Ni(19,529) — Cd(0,917) — Zn(0,274) — Cu(0,261) — Fe(0,198)
<i>Дача 2</i>
1. Mn(0,189) — Cd(0,09) — Cu(0,077) — Pb(0,053) — Zn(0,044) — Ni(0,032) — Co(0,031) — Fe(0,0003).
2. Mn(55,05) — Co(2,847) — Pb(1,509) — Ni(1,37) — Zn(0,889) — Cu(0,868) — Cd(0,105) — Fe(0,005).
3. Mn(19,4) — Ni(5,563) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) — Ni(0,597) — Zn(0,342) — Cu(0,281) — Cd(0,093) — Fe(0,0153)
4. Mn(19,4) — Ni(5,563) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) — Ni(0,597) — Zn(0,342) — Cu(0,281) — Cd(0,093) — Fe(0,015)
5. Mn(21,94) — Ni(8,186) — Pb(>>1,0) — Co(>1,0) — Ni(0,597) — Zn(0,384) — Cu(0,391) — Cd(0,104) — Fe(0,017)
6. Mn(16,89) — Ni(9,711) — Zn(3,122) — Pb(1,558) — Cu(1,164) — Co(>1,0) — Fe(0,012)

Примечание. Некоторые элементы (такие, как Pb, Co) в отдельных образцах устанавливаются ниже чувствительности анализов металлов. В этом смысле их место в ряду подвижности установить невозможно. Однако, опираясь на предельные значения чувствительности не установленных в образцах металлов, их можно ранжировать по соотношению концентраций водорастворимых соединений к тем или иным образцам томатов. Эти значения, как правило, должны превышать значение больше 1,0.

Если внешних воздействий не будет, то ряды миграции будут одинаковыми во всех случаях, кроме способности самих растений (томатов) избирательно накапливать или не накапливать те или иные элементы.

Действительно, чем выше влияние внешних условий на выращивание томатов, тем изменчивость структуры подвижности элементов в их рядах выше.

Сопоставив ряды (1) (табл. 4) по всем экспериментальным площадкам, видим, что они близки относительно подвижного марганца и инертного железа. Перемещение металлов в рядах осуществляется незначительно, но внутри пограничных Mn и Fe на всех экспериментальных площадках. Это связано с тем, что влияние внешней среды незначительно сказывается на водорастворимые соединения в почве. Можно

отметить, что тяготение токсичного Cd к более подвижному Mn на площадке Б. Салы смещается в сторону более инертного на площадке Таганрог–Мариуполь (работает эффект лесной полосы).

Сопоставление рядов подвижности (2) однозначно указывает на смещение Cd в сторону более инертного Fe на площадке Б. Салы, накапливаясь в листьях и стеблях растений. Это смещение в меньшей степени касается площадки Таганрог–Мариуполь.

Весьма разительно отличается картина в условиях миграционного ряда (3). При самых низких концентрациях тяжелых металлов в плодах томатов вся группа наиболее токсичных металлов Cd, Co либо тяготеет к инертному железу, либо, такие, как Cu и Zn, становится даже более инертными по отношению нему. В плодах работает эффект перемещения ранее подвижных элементов в инертную группу железа. На площадке Мариуполь–Таганрог ряд в общем сохраняет свою структуру до инертного Fe. При этом Cd направленно от ряда (1) к ряду (2) и (3) перемещается из более подвижных в инертные. В рядах 4, 5, 6 на площадке Б. Салы эффект тот же. Семена, оболочки семян и самого семени переводят наиболее токсичные элементы в ассоциацию инертного железа (а по сути, их не усваивают до критических концентраций, необходимых для биогеохимических процессов обмена веществом в самих семенах и будущих поколений томатов), «защищая» ядро семени томатов и сами плоды томатов. При накоплении избыточных концентраций тяжелых металлов в оболочку семян (концентрации элементов во всех случаях максимальные относительно плодов и ядер семян томатов) растениями решается две главные задачи: укрепление и защита оболочки семян магнием, кальцием и тяжелыми металлами (табл. 3) до следующего вегетационного цикла и предотвращение попадания токсичных металлов в ядра семян. Присутствие в подавляющих случаях такого токсичного металла, как Cd, в составе семян и плодов томатов, включая и ядра семян, может указывать на то, что этот элемент может участвовать в биохимических обменах вещества в растениях. Форма вхождения такого элемента в состав органического вещества томатов и участие в биохимических обменных процессах могут представлять собой соединения кадмия с серой, поскольку, как известно из области геохимии, его родство к сере высокое. А в состав любого живого вещества, как известно, входит сера. Да и сам процесс сброса подвижных элементов томатами в процессе вегетации в состав листьев и стеблей, скорлупы семян связан, очевидно, с изменением кислотно-щелочной среды на границе, например, формирования скорлупы семян (участие серы в обменных процессах). Являясь самоорганизующейся системой [9, 10, 14, 15] растения в период вегетации, особенно во время образования семян, лавинно сбрасывают тяжелые металлы в оболочку семян (табл. 1), предотвращая попадание их значительной части в состав ядрышек семян, защищая тем самым собственный генофонд от негативного влияния окружающей среды.

Построение миграционных рядов подвижности в процессе вегетационного цикла растений (на примере томатов) позволяет не только раскрыть существо динамики накопления или рассеяния элементов в течение этого цикла, но и решить обратную задачу. Если миграционные ряды относительно наиболее подвижных и инертных металлов в процессе вегетационного периода растений не меняют свою структуру, значит, в течение всего периода внешние воздействия среды обитания либо отсутствуют, либо минимальны. Если же структура рядов меняется относительно инертных компонентов, то с позиции синергетики, закона внутреннего динамического равновесия, непременно существуют внешние воздействия среды, влияющие

на изменение структуры рядов подвижности элементов. Это можно продемонстрировать и на примере фоновых площадок Дача 1 и Дача 2. Томаты, выращенные на этих площадках, в течение вегетационного периода не меняют структуры подвижности элементов относительно подвижного Mn и инертного Fe. Заметное смещение, например, токсичного Cd в сторону Fe в миграционных рядах 2–5 на площадке Дача 2 указывает на влияние поливной воды на их структуру, подтверждая мысль о влиянии состава поливной воды на процесс усвоения тяжелых металлов. В данном конкретном случае томаты в процессе вегетационного периода непрерывно стремятся перевести кадмий из более подвижного в менее подвижное соединения, препятствуя его накоплению как в самих плодах, так и в ядрах семян.

Выводы

1. Выдвинутая рабочая гипотеза о влиянии качества окружающей среды на процессы накопления и рассеяния тяжелых металлов в течение вегетационного периода томатов, а также на структуру подвижности тяжелых металлов подтверждается смещением в структуре подвижности рядов металлов относительно более подвижного Mn и более инертного Fe. Чем выше уровень загрязнения окружающей среды, тем большее смещение металлов к инертному Fe, что быстрее провоцирует их сброс в стебли и семена томатов.

2. Сброс тяжелых металлов в листья, стебли и оболочку семян томатов в процессе их мелиорации носит накопительный характер (максимальные концентрации тяжелых металлов наблюдаются именно в этих разностях на всех экспериментальных площадках в самых различных условиях), освобождая (рассеивая) металлы от накопления их в плодах томатов и ядрах семян. Тем самым самоорганизующаяся система растений не передает эстафету загрязнения тяжелыми металлами будущим поколениям. Однако наличие в плодах и ядрах семян такого элемента, как Cd, дает основание предполагать (хотя это не доказывается на больших массивах исследований разными авторами) его участие в обменных процессах при формировании ядер семян растений, относя его к условно-эссенциальным микроэлементам [1].

3. Синергизм в накоплении и рассеянии тяжелых металлов в условиях защищенных и не защищенных лесополосами экспериментальных площадок заключается в совместном действии (влиянии) внутренних коллективных сил на самоорганизующуюся систему растений при мелиорации, которая в рамках именно собственной самоорганизации управляет процессами миграции тяжелых металлов в течение всего вегетационного периода.

4. Проведенное исследование предполагает необходимость проверки механизма и времени включения самоорганизующейся системы [3] на борьбу с накоплением тяжелых металлов выше уровня их содержания в составе подвижных водорастворимых соединений в почвенной влаге, в составе аэрозолей атмосферного воздуха. Предполагается, что одним из ведущих механизмов такой самоорганизации является процесс постепенного изменения pH в составе стеблей и оболочки семян томатов.

Библиографический список

1. Бгатов А.В. Биогенная классификация элементов // *Философия науки*. 1999. № 2(6).
2. Будин А.С. Химические элементы — токсиканты почв // *Почвоведение*. 1975. № 11. С. 125–127.

3. Герасимов И.Г. Внутренне время самоорганизующихся биологических систем // Вісник Донецького національного університету. 2013. Сер. А Природничі науки. № 2. С. 143–148.
4. Кокин А.В. Временная циклично-зональная последовательность накопления и рассеяния элементов в осадочных комплексах // ДАН СССР. 1988. Т. 300. № 1.
5. Кокин А.В. Периодичность в накоплении и рассеянии химических элементов в осадочных образованиях в истории земной коры // Материалы VIII Всерос. литологического совещ. (Москва, 27–30 октября 2015 г.). 2015. Т. 1. С. 363–366.
6. Кретович Б.Л. Биохимия растений. М.: Высшая школа, 1997. 445 с.
7. Мудрый И.В. О возможном нарушении поверхностно активных веществ эколого-гигиенического равновесия в условиях комплексного антропогенного загрязнения окружающей среды (Обзор) // Гигиена и санитария. 1995. № 3. С. 38.
8. Овчаренко М.М. Тяжелые металлы в системе почва — растение — удобрение. М.: Высшая школа, 1997. 290 с.
9. Самоорганизующиеся биологические системы. <http://www.v-ratio.ru/more/060-samoorganizacia.html>.
10. Самоорганизующиеся системы в биологии. <http://geoprroda.ru/filosofiya-zoologies/376-samoorganizuyushhiesya-sistemy-v-biologii.html>.
11. Соколова О.Я., Стряпков А.В. Влияние техногенного воздействия на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвах // Вестник ОГУ. 2005. № 3.
12. Шумакова Г.Е. Влияние запаса почвенной влаги на миграционные способности водорастворимых соединений металлов в почве и агропродукции под влиянием загрязнения автотранспортной магистрали // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4(36). С. 3–11.
13. Шумакова Г.Е. Современные проблемы агроэкологии: Монография; Под ред. А.В. Кокина. Новочеркасск: НОК, 2010. 162 с.
14. Ashby W.R. Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. 2004. V. 37. P. 125–128.
15. Gerasev A.P. J. Non-Equilib. Thermodyn. 2011. P. 55–73.
16. <http://www.water.ru/bz/param/cadmium.shtml>.

HEAVY METALS MOBILITY IN TOMATO PLANTS (UNDER THE CONDITIONS OF ROSTOV REGION)

G.E. SHUMAKOVA

(Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named
after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University)

The pilot experiments were conducted with tomato plants which were cultivated on two plots close to highways (near to the Azov Sea). In one variant plants were protected from the highway by the forest belt (Taganrog, Mariupol) in the other variant tomatoes were not protected against the road influence (B. Saly). There were also two control variants long-distance from the roads and not susceptible to their impact. Besides, all the variants were treated with water of different composition. For the first time it was found that under the influence of highways pollution not only concentrations of heavy metals in tomato plants (leaves and stems, fruits and seeds) increased (which was known before and confirmed again), but also their structure in the ranks of the movable elements changed. Irrigation with waters of different composition has the same effect. Self-organization of agricultural

production, by the example of tomatoes cultivated in agroforestry systems, leads to avalanche discharge of heavy metals not only in the leaves and stems of the plant, but also in the shells of tomato seeds. This not only protects the core of tomato seeds from excessive heavy metals pollution, but also creates the conditions for high-strength shell of seeds that can protect their contents from various environmental influences.

The proposed working hypothesis about the influence of environmental quality on the processes of accumulation and dispersion of heavy metals during the growing season of tomatoes, as well as on the structure of heavy metals mobility, is confirmed by the shift in the structure of metals mobility series in relation to more mobile Mn and more inert Fe. The higher the level of environmental pollution the more metals offset to the inert Fe, which rapidly provokes their discharge into the stems and seeds of tomatoes. The ranks of heavy metals mobility during their transition from water-soluble compounds of soil to tomato plants undergo inversion, which determines the minimal intake of heavy metals by tomato plants. Therefore, tomato fruits grown in all variants had the content of heavy metals less than Clarke number for plants, so it is ecologically clean production.

Key words: agroforestry, forest belt, heavy metals, water-soluble compounds, soil, the mobility of metals, self-organization, tomato fruits, tomato seeds, seed shell.

References:

1. *Bgatov A.V.* Biogennaya klassifikatsiya elementov [Biogenic classification of elements]. *Filosofiya nauki* [Philosophy of Science]. 1999. № 2(6).
2. *Budin A.S.* Khimicheskie elementy — toksikanty pochv [Chemical elements are soil toxicants]. *Pochvovedenie* [Soil Science]. 1975. № 11. P. 125–127.
3. *Gerasimov I.G.* Vnutrenne vremya samoorganizuyushchikhsya biologicheskikh sistem [The internal time of self-organizing biological systems]. *Visnik Donets'kogo natsional'nogo universitetu* [Journal of Donetsk National University]. 2013. Natural Sciences. № 2. P. 143–148.
4. *Kokin A.V.* Vremennaya tsiklichno-zonal'naya posledovatel'nost' nakopleniya i rasseyaniya elementov v osadochnykh kompleksakh [Temporary cyclic and zonal sequence of accumulation and scattering of elements in sedimentary complexes]. *DAN SSSR* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. 1988. Vol. 300. № 1.
5. *Kokin A.V.* Periodichnost' v nakoplenii i rasseyanii khimicheskikh elementov v osadochnykh obrazovaniyakh v istorii zemnoy kory [The frequency in the accumulation and dispersion of chemical elements in the sedimentary formations in the history of the earth's crust]. *Materialy VIII Vseros. litologicheskogo soveshch* [Proceedings of VIII All-Russia lithological Conference]. Moscow (27–30 October, 2015). 2015. Vol. 1. P. 363–366.
6. *Kretovich B.L.* Biokhimiya rasteniy [Plant Biochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola. 1997. 445 p.
7. *Mudryy I.V.* O vozmozhnom narushenii poverkhnostno aktivnykh veshchestv ekologigigienicheskogo ravnovesiya v usloviyakh kompleksnogo antropogennogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy (Obzor) [About a possible violation of surfactants ensuring ecological and hygienic equilibrium under the conditions of complex anthropogenic pollution (Review)]. *Gigiena i sanitariya* [Hygiene and sanitation]. 1995. № 3. P. 38.
8. *Ovcharenko M.M.* Tyazhelye metally v sisteme pochva — rastenie — udobrenie [Heavy metals in the system soil - plant - fertilizer]. Moscow: Vysshaya shkola, 1997. 290 p.
9. Samoorganizuyushchiesya biologicheskie sistemy [Self-organizing biological systems]. Available at: <http://www.v-ratio.ru/more/060-samoorganizacia.html>.
10. Samoorganizuyushchiesya sistemy v biologii [Self-organizing systems in biology]. Available at: <http://geoprroda.ru/filosofiya-zoologies/376-samoorganizuyushchiesya-sistemy-v-biologii.html>.
11. *Sokolova O.Ya., Stryapkov A.V.* Vliyanie tekhnogennogo vozdeystviya na sodержanie valovykh i podvizhnykh form tyazhelykh metallov v pochvakh [The anthropogenic impact on the

content of total and mobile forms of heavy metals in soils]. Vestnik OGU [Journal of Omsk State University]. 2005. № 3.

12. *Shumakova G.E.* Vliyaniye zapasa pochvennoy vlagi na migratsionnye sposobnosti vodorastvorimykh soedineniy metallov v pochve i agroproduksii pod vliyaniem zagryazneniya avtotransportnoy magistrali [Influence of soil moisture reserve on the migratory ability of water-soluble compounds of metals in the soil and of agricultural products under the influence of highways pollution]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie [Journal of Agro universities Complex in the Volga Region: science and higher professional education]. 2014. № 4(36). P. 3–11.

13. *Shumakova G.E.* Sovremennye problemy agroekologii [Modern problems of agroecology]. Novocherkassk: NOK. 2010. 162 p.

14. *Ashby W.R.* Principles of the Self-Organizing Dynamic System // Journal of General Psychology. 2004. V. 37. P. 125–128.

15. *Gerasev A.P.* J. Non-Equilib. Thermodyn. 2011. P. 55–73.

16. <http://www.water.ru/bz/param/cadmium.shtml>.

Шумакова Галина Евгеньевна — к. с.-х. н., доц., докторант кафедры мелиорации земель Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВПО «Донской государственный аграрный университет» (346400, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская д. 111; тел.: (952) 578-56-12; e-mail: mr.chister2@mail.ru).

Shumakova Galina Evgenievna — PhD in Agriculture, Associate Professor, a postdoctoral student of the Department of Land Reclamation, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University (346400, Rostov region, Novo-cherkassk, Pushkinskayastr., 111; tel.: +7 (952) 578-56-12; e-mail: mr.chister2@mail.ru).