

Т. М. Минкина, М. В. Бурачевская, В. А. Чаплыгин (ФГАОУ ВПО «ЮФУ»)

С. Ю. Бакоев (ФГБОУ ВПО «ДонГАУ»)

Е. М. Антоненко, С. С. Белогорская (ФГБНУ «РосНИИПМ»)

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА – РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Целью работы являлось изучение закономерностей транслокации цинка и свинца в системе почва – растение на примере ячменя. Агротехника возделывания культуры – зональная. Закладка опытов, проведение наблюдений и учетов, отбор растительных проб проводились в соответствии с методиками полевого опыта. Содержание Zn и Pb определяли методами атомно-абсорбционной спектрофотометрии и рентген-флюоресцентным. По результатам полевого опыта установлены различия в распределении Zn и Pb по органам ярового ячменя, выращенном на незагрязненном и загрязненном (тройное превышение ПДК) черноземе обыкновенном. Загрязнение почвы Zn и Pb ведет к повышению содержания металлов во всех органах ячменя. Основную барьерную функцию по инактивации исследуемых тяжелых металлов выполняют корни растений. В последующие годы транслокация Zn и Pb в растения снижается. Вместе с тем, наблюдается стойкое загрязнение ими растительной продукции в течение трех лет после загрязнения. Устойчивость ячменя к загрязнению Zn выше, чем к загрязнению Pb. Расчет коэффициента накопления тяжелых металлов предлагается проводить с учетом всей группы подвижных соединений в почве.

Ключевые слова: мелиоранты, транслокация, тяжелые металлы, ячмень, чернозем обыкновенный.

T. M. Minkina, M. V. Burachevskaia, V. A. Chaplygin (FSAEE HPE «SFedU»)

S. U. Bakoev (FSBEE HPE «DonSAU»)

E. M. Antonenko, S. S. Belogorskaia (FSBSE «RSRILIP»)

HEAVY METALS ACCUMULATION IN SOIL – PLANT SYSTEM IN POLLUTED ENVIRONMENT

The objective of the paper was to study the patterns of zinc and lead translocation in the soil – plant system by the example of barley. Agrotechniques for crop cultivation are zonal. Experiments, observations, counts and plant sampling were carried out in accordance with the techniques of field experience. Contents of Zn and Pb were determined by atomic absorption spectrophotometry and X-ray fluorescence. According to the results of field experiments the differences in Zn and Pb distribution in organs of spring barley grown in unpolluted and polluted (triple maximum allowable concentration) ordinary chernozem were established. Zn and Pb soil contamination results in a higher content of metals in all organs of barley. The main barrier function by inactivation of the investigated heavy metals is realized by plant roots. In subsequent years Zn and Pb translocation in plants reduced. However, there is a persistent contamination of plant products within three years after pollution. The tolerance of barley to Zn contamination was higher than to the contamination of Pb. The calculation of heavy metals accumulation coefficient is proposed to carry out taking into account all the mobile compounds in soil.

Keywords: ameliorants, translocation, heavy metals, barley, the ordinary chernozem.

Введение. В современных условиях сельскохозяйственные товаропроизводители нередко сталкиваются с необходимостью вести производство продукции на землях, в разной степени загрязненных тяжелыми металлами (ТМ). Известно, что загрязнение почв ТМ оказывает негативное действие на возделываемые культуры, снижая количество и качество получаемой продукции, последнее является основным критерием ее использования. Учитывая, что Ростовская область производит значительное количество растениеводческой продукции, возникает естественный вопрос об изучении механизмов транслокации ТМ в сельскохозяйственные растения при разных уровнях техногенной нагрузки.

Изучение поступления ТМ в растения имеет несколько практических моментов. Во-первых, растения являются промежуточным резервуаром, через который металлы переходят из воды, воздуха и, главным образом, почвы в организмы человека и животных, в связи с чем, необходима разработка методов защиты пищевых цепей от проникновения токсикантов в опасных концентрациях. Во-вторых, доказана токсичность ТМ для самих растений, что ставит ряд вопросов о реакции растений на их избыток в среде. И третий аспект – это выяснение возможности использования растений в качестве биоиндикаторов загрязненной ТМ среды [1].

Содержание в почве ТМ и сопряженная с этим транслокация их в растения сложный процесс, на который влияет много факторов: почвенно-климатическими условия, свойства загрязняющих веществ, вид и возраст растений.

Цель работы – изучить закономерности транслокации цинка и свинца в системе почва – растение.

Объекты и методы исследований. Для проведения исследований был заложен мелкоделяночный полевой опыт в 2007 г. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный мощный слабогумусированный тяжело-суглинистый на лессовидных суглинках, имеющий следующие свойства:

$pH_{\text{водн.}}$ – 7,5; содержание частиц $< 0,01$ мм – 58 %; $CaCO_3$ – 0,15 %; $C_{\text{орг}}$ – 2,2 %; обменных катионов $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ – 34,5 мг-экв./100 г; NO_3 , $P_2O_{5\text{подв}}$, $K_2O_{\text{обм}}$ в мг/100 г – 0,9; 6,0 и 6,4 соответственно. Методы определения в соответствии с общепринятыми методиками. Обеспеченность подвижным фосфором оценивается как высокая, обменным калием – повышенная [2].

Для проведения исследований были выбраны наиболее часто встречающиеся на территории Ростовской области поллютанты – цинк (Zn) и свинец (Pb). ТМ вносились отдельно в форме легкорастворимых ацетатных солей с осени в сухом виде в пахотный горизонт (0-20 см) и тщательно перемешивались с почвой. Дозы внесения металлов в почву (цинка – 300 мг/кг, свинца – 96 мг/кг) соответствует трем предельно допустимым концентрациям (ПДК) по валовым формам (ПДК Zn – 100 мг/кг, ПДК Pb – 32 мг/кг и 13 и 16 ПДК по подвижным формам данных металлов соответственно. Дозы внесения металлов соотнесены с имеющимся уровнем загрязнения ими почв Ростовской области [3]. Повторность опыта – трехкратная.

Исследуемая монокультура – яровой ячмень (*Hordeum sativum distichum*) сорта Одесский 100. Для того чтобы добавленные в почву соли ТМ прошли трансформацию, между их внесением и посевом ячменя был выдержан период 8 месяцев.

Агротехника возделывания культуры – зональная. Закладка опытов, проведение наблюдений и учетов, отбор растительных проб проводились в соответствии с методиками полевого опыта [4] на базе государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) «Ростовский». Образцы растений отбирались в фазу полной спелости ярового ячменя.

Общее содержание ТМ в почве определяли рентген-флюоресцентным методом. Концентрацию подвижных (обменных) соединений металлов в почве определяли методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС). Для их экстракции применяли 1Н аммонийно-ацетатный буфер

($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) – ААБ, рН 4,8 (при соотношении почва : раствор 1:5, время экстракции 18 часов), характеризующий актуальный запас элементов в почве [2]. Тяжелые металлы в растениях определены методом мокрого озоления в смеси кислот $\text{HNO}_3 + \text{HCl}$ [5] с последующим определением на ААС.

Результаты исследований. Установлено, что общее содержание Zn в почве на контрольных участках за 3 года исследований составило в среднем 67 мг/кг (таблица 1). Все результаты исследований получены в пределах достоверности опыта.

Таблица 1 – Содержание ТМ в черноземе обыкновенном

Варианты опыта	Общее содержание			Подвижные соединения		
	Действие	Последствие 1 года	Последствие 2 года	Действие	Последствие 1 года	Последствие 2 года
Zn						
Контроль	68,4	65,3	67,1	0,6	0,6	0,6
Металл	355,9	348,7	352,0	33,0	27,6	26,1
НСП ₀₅	11,4	14,9	24,1	5,2	3,8	2,5
Pb						
Контроль	24,1	23,5	27,5	0,8	0,9	1,0
Металл	109,6	101,3	100,4	12,8	10,8	8,7
НСП ₀₅	8,6	2,5	9,9	3,6	3,0	2,1

Содержание подвижных форм Zn равно 0,6 мг/кг (0,89 % от общего содержания). Такие концентрации Zn даже для растений слабого выноса соответствуют очень низкому ($< 1,0$ мг/кг) уровню обеспеченности этим микроэлементом. Это связано с тем, что в карбонатных почвах со слабощелочной реакцией среды не создаются условия для накопления подвижных форм ТМ из-за образования недоступных для растений соединений. На карбонатных черноземах отмечается очень низкая обеспеченность цинком [6].

Таким образом, дефицит отдельных элементов в естественных ландшафтах и высокое их содержание при интенсивном антропогенном воздействии создают условия экологического риска.

Установлено, что содержание Zn в зерне ячменя на контроле составляет от 21,6 до 24,8 мг/кг, что отвечает их фоновому содержанию [7-9].

Корневые системы часто содержат больше Zn, чем надземные части, в особенности, если растение выросло на почве, богатой Zn. При оптимальном содержании Zn в почве этот элемент может перемещаться из корней и накапливаться в верхних частях растений [11].

Концентрация Zn в корнях ярового ячменя на контроле была несколько ниже, чем в зерне (таблица 2), то есть и корни не обладали барьерной функцией в отношении этого элемента. Такое распределение Zn в ячмене, по-видимому, связано с недостатком его подвижных форм в карбонатном черноземе.

Таблица 2 – Содержание ТМ в различных органах растений ярового ячменя в течение трех лет после загрязнения почвы, мг/кг

Варианты опыта	Действие			Последействие 1 года			Последействие 2 года		
	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни
Zn									
Контроль	23,0	17,5	19,9	24,2	18,1	20,6	22,7	17,9	19,5
Металл	65,4	73,4	204	58,7	67,4	185,7	51,2	58,0	160,2
НСП ₀₅	4,0	5,6	8,4	4,8	4,4	12,8	3,7	9,8	11,0
Pb									
Контроль	0,3	1,4	4,4	0,2	1,1	3,2	0,3	1,3	4,5
Металл	2,5	8,8	19,1	1,7	5,9	17,6	0,9	3,0	11,9
НСП ₀₅	0,4	1,5	2,4	0,4	0,9	4,4	н/о	1,3	5,1

Общее содержание Pb в черноземе обыкновенном на незагрязненном черноземе составляет 25,0 мг/кг (таблица 1). Количество подвижных форм Pb на контроле больше, чем Zn и равно 0,9 мг/кг (3,6 % от общего содержания).

Содержание Pb в зерне было намного ниже, чем в других органах – от 0,2 до 0,3 мг/кг (таблица 2). Полученные значения согласуются с литературными данными по среднему содержанию элемента в ячмене [12, 13].

Основная часть Pb задерживалась в корнях растений, что указывает на существование защитных барьеров, препятствующих его накоплению в генеративных органах. Больше по сравнению с другими частями расте-

ний накопление металла в корнях объясняется тем, что при проникновении в плазму происходит инактивация и депонирование значительных его количеств, в результате образования малоподвижных соединений с органическим веществом. Поглощенный корнями Pb находится в свободном клеточном пространстве или используется в процессах метаболизма. Только часть Pb с ксилемным током транспортируется в надземные органы [14, 15].

Таким образом, распределение ТМ по органам ярового ячменя на незагрязненном черноземе следующее (рисунок 1): для цинка – *зерно > корни > стебли*; для свинца – *корни > стебли > зерно*. Причем, различия в накоплении Pb исследуемыми органами растений выражены сильнее, чем по Zn.

Загрязнение чернозема обыкновенного ТМ привело к накоплению их в растениях. Содержание Zn и Pb в зерне превышает ПДК (ПДК для Zn – 50 мг/кг, для Pb – 0,5 мг/кг) [16]. Причем, концентрация Pb в 5 раз выше критической. Как показывают данные таблицы 1, превышение ПДК по подвижным формам Pb также больше, чем по Zn.

Происходят существенные изменения в перераспределении металлов по органам ярового ячменя (рисунок 1). При моделировании загрязнения чернозема Zn установлен акропетальный характер накопления элемента в растениях ярового ячменя: *корни > стебли > зерно*. Концентрация Zn в корнях ячменя по сравнению с контролем увеличилась в 8-10 раз. Соотношение *зерно : стебли : корни* на контроле составляет 1:1:1; при загрязнении – 1:1:3.

Следовательно, основную барьерную функцию по снижению поступления Zn в растения выполняют корни. При проникновении металла в корни растений происходит его хелатирование и, как следствие, уменьшение подвижности. Предполагается, что определенную защитную функцию в корнях могут выполнять клетки пояса Каспари, препятствующие движению вещества по межклеточному пространству и ограничивающие его переход в проводящие ткани [17, 18].

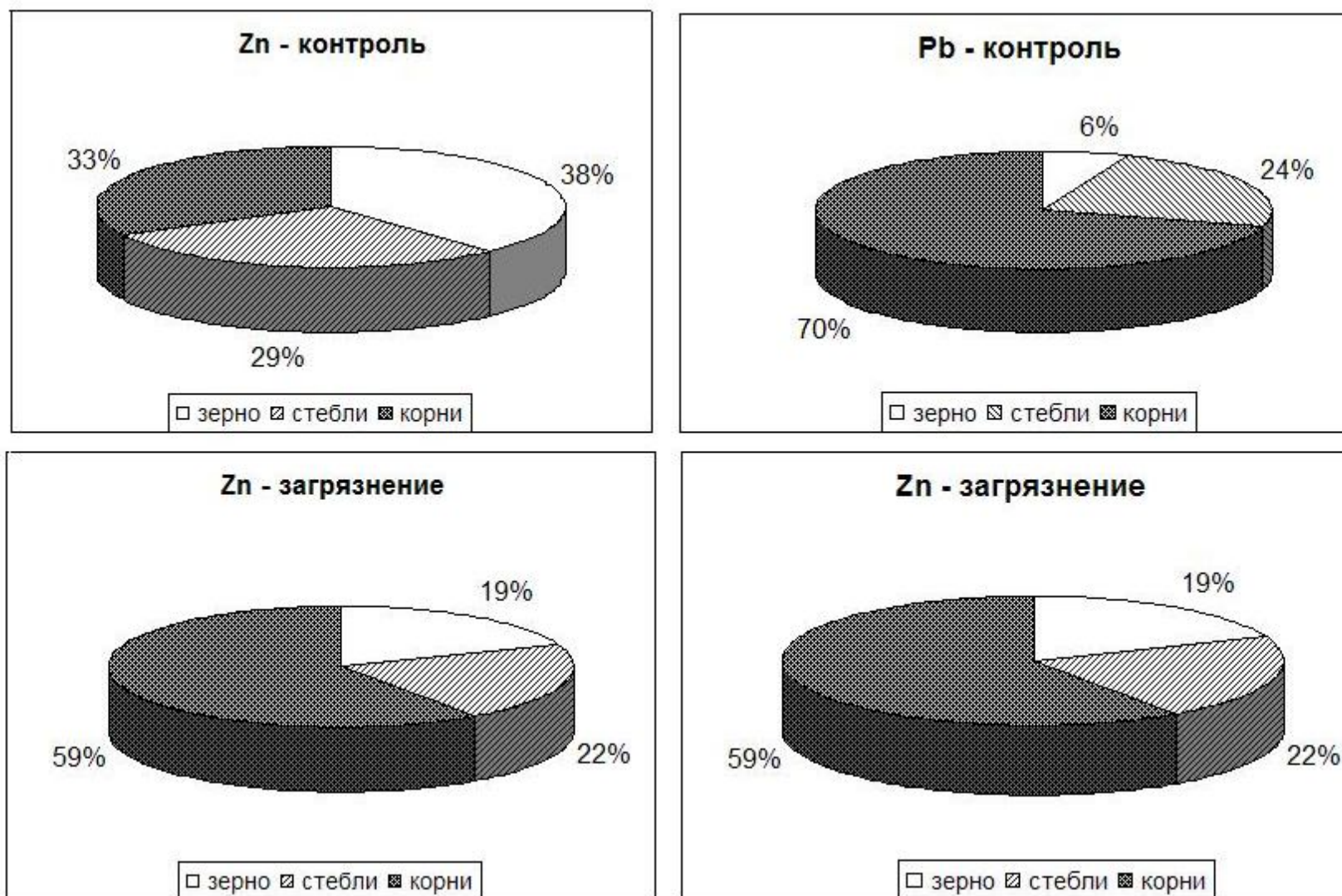


Рисунок 1 – Распределение цинка и свинца по органам ярового ячменя

Рассчитана *высота барьера* на границе *корень – стебель* и *стебель – зерно* для ярового ячменя. Она определяется отношением содержания ТМ в стебле к его концентрации в зерне и количеству элемента в корнях. Для Zn на контроле высота барьера *корень – стебель* составляет 1,1, *стебель – зерно* – 0,8; при загрязнении высота барьера увеличивается до 2,8 и 1,1 соответственно.

Распределение Pb в органах ячменя в загрязненной почве имеет аналогичный характер с контролем (рисунок 1): больше всего поллютанта находится в корнях, далее – в стеблях, и меньше – в зерне. Соотношение *зерно : стебли : корни* на контроле равно 1:5:15, при загрязнении – 1:4:8. Таким образом, при повышении содержания Pb в почве соотношение выравнивается, металл преимущественно накапливается в зерне и в стеблях. *Высота барьеров* при этом уменьшается до 2,2 на границе *корень – стебель* и до 3,5 на границе *стебель – зерно* против 3,1 и 4,7 соответственно на контроле.

Таким образом, природа и концентрация металлов в почве влияют на их распределение по органам ярового ячменя:

Zn: контроль – *зерно > корни > стебли*; загрязнение – *корни > стебли > зерно*;

Pb: контроль и загрязнение – *корни > стебли > зерно*.

Различия в содержании цинка и свинца по органам ячменя объясняются физиологической ролью их в живом организме. Цинк является эссенциальным, т.е. жизненно необходимым, микроэлементом, в то время как свинец, хотя и присутствует во всех растениях в природных условиях, до настоящего времени выявить какую-либо его особую роль в метаболизме не удалось. Поэтому у растений в процессе эволюции, вероятно, не выработано специальных механизмов детоксикации по отношению к свинцу.

В случае с Zn внесенная доза оказалась не такой токсичной для растений ярового ячменя, во многом благодаря действию защитных механизмов на границе *корень – стебель*, *стебель – зерно*. Подтверждением этому

служат менее существенное уменьшение основных морфометрических и качественных характеристик растений под влиянием цинка по сравнению со свинцом [19]. Определенную роль имеет и различная степень увеличения их подвижных форм при загрязнении почвы.

Анализ данных по накоплению Pb корнями растений позволил прийти к заключению, что способ его поглощения – пассивный [1]. Несмотря на плохую растворимость Pb в почве, он поглощается корневыми волосками и задерживается в стенках клеток. На незагрязненной почве перемещение Pb из корней в надземную часть весьма ограничено. Главный процесс, с которым связано накопление Pb в тканях корней – это отложение на стенках клеток в виде кристаллов нерастворимых фосфатных комплексов. Из корневой системы в стебли поступает незначительное количество металла. Повышенная концентрация свинца в корнях, таким образом, связана с образованием нерастворимых комплексов, накоплением их в клетках и слабым перемещением в другие части растений [22].

Ограничение поступления ТМ в надземную часть растений – один из механизмов, определяющих устойчивость. Физиологический смысл этого явления, вероятно, состоит в снижении концентрации металла в тех участках, где наиболее активно протекают процессы биосинтеза.

Несмотря на относительно небольшую дозу внесения ТМ, наблюдается стойкое загрязнение ими растительной продукции. Количество Zn и Pb в генеративных органах ячменя превышало ПДК в течение трех лет с момента загрязнения (таблица 2).

Установлены различия в закономерностях накопления элементов со временем. В последствии происходит снижение количества Zn во всех органах ячменя на 8-10 % в первый год последствия, и на 21-22 % – во второй год последствия (таблица 2). Соотношение *зерно : стебли : корни* остается неизменным.

Транслокация Pb в последующие годы выражена значительно слабее.

Концентрация Pb в зерне и стеблях в среднем во второй и третий год уменьшилась на 33 % и 65 % соответственно, в корнях по сравнению с ними изменилась незначительно. Следовательно, доля корней в накоплении металла постепенно возрастает и следовательно расширяется соотношение *зерно : стебли : корни* до 1:3:13. Это связано с тем, что когда Pb присутствует в питательных растворах в растворимой форме, корни растений способны поглощать его в большом количестве, при этом скорость поглощения возрастает с ростом концентрации и со временем.

Показателем степени накопления элементов растениями является *коэффициент биологического поглощения* (КБП). КБП – это отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию его в почве. КБП позволяет косвенно судить о степени доступности элемента для растений и его поведении в системе «почва – растение».

Установлено, что на контрольных вариантах все органы растений использовали соединения ТМ наиболее полно (таблица 3). Особенно это характерно для Zn, который является эссенциальным микроэлементом. В соответствии с величиной КБП Zn относится к группе элементов сильного накопления, Pb – к группе элементов слабого и очень слабого захвата.

Таблица 3 – Коэффициенты биологического поглощения (КБП) и накопления (Кн) Zn и Pb органами растений ярового ячменя

Варианты опыта	Zn						Pb					
	Действие		Последствие 1 года		Последствие 2 года		Действие		Последствие 1 года		Последствие 2 года	
	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли	зерно	стебли
КБП												
Контроль	0,34	0,26	0,37	0,28	0,34	0,27	0,01	0,06	0,01	0,05	0,01	0,05
Металл	0,18	0,21	0,17	0,19	0,15	0,16	0,02	0,08	0,02	0,06	0,01	0,03
Кн												
Контроль	38,33	29,17	40,33	30,17	37,83	29,83	0,38	1,75	0,22	1,22	0,30	1,30
Металл	1,98	2,22	2,13	2,44	1,96	2,22	0,20	0,69	0,15	0,55	0,08	0,29

Существенным различием между этими двумя элементами является также то, что при загрязнении почвы Zn КБП – снижается, а Pb – возрастает. Отмеченные закономерности сохраняются и в последствии. На наш взгляд, это объясняется биохимической ролью металлов в растениях и способами их поглощения и переноса. В условиях полевого опыта установлено, что для Zn при концентрациях его в почве 250 мг/кг характерен метаболический перенос, он поглощается против градиента концентрации [20], так как в процессе эволюции у растений имеются определенные защитные механизмы для снижения поступления избыточных количеств этого элемента в генеративные органы. При повышенных концентрациях Pb в почве (выше 100 мг/кг) происходит в основном пассивный перенос.

Оценивая величину КБП, следует отметить, что наблюдается тенденция накопления в вегетативных органах более значительных количеств поллютанта, чем в генеративных, особенно свинца.

Данные корреляционного анализа показывают умеренную связь между общим содержанием металлов в почве и в растениях (колебался от 0,45 до 0,56). Связь между подвижными формами соединений Zn и Pb в почве и их содержанием в зерне и стеблях ярового ячменя во все годы исследования была сильной (коэффициент корреляции – 0,83-0,96).

В связи с этим, более информативным критерием оценки количества металлов, перешедших из почвы в растения является *коэффициент накопления* (Кн). Он рассчитывается как отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве, так как именно они доступны растениям.

Самые высокие величины Кн, как и КБП, характерны для растений, выросших на незагрязненной почве (таблица 3).

При загрязнении почвы установлено значительное снижение Кн для обоих металлов, что, вероятно, обусловлено защитной реакцией растений на избыток элементов в почве. Наиболее значительное уменьшение Кн

характерно для Zn. Следует отметить, что оценка тенденций накопления различных поллютантов в растениях, полученных на основе показателей КБП и Кн неоднозначна. Например, в случае загрязнения Pb КПБ возрастает, а Кн уменьшается. Это связано с тем, что растения могут использовать не только обменные формы элементов (экстракция 1Н ААБ), но и другие подвижные формы, содержание которых увеличивается с ростом загрязнения. Так, при внесении Pb в почву идет преимущественное накопление комплексных форм (экстракция ЭДТА) в группе подвижных соединений [21]. Таким образом, при расчете Кн желательно использовать содержание всей группы подвижных соединений, включающей обменные, комплексные и специфически сорбированные формы (экстракция 1Н HCl за минусом количества ТМ, извлекаемых ААБ).

Одним из показателей накопления элементов растениями является величина *биологического выноса ТМ с урожаем растений*. Биологический вынос с основной и побочной продукцией определяется величиной урожая, содержанием металлов в растениях, а также биологическими особенностями возделываемых культур.

Вынос Zn с урожаем ячменя, равным 33,9 ц/га, в среднем за 3 года составил на контроле – 170,3 г/га. На вариантах загрязнения в среднем за 3 года наблюдается значительное увеличение выноса ТМ растениями ячменя – до 634,2 г/га в действии и 743,2 – 670 г/га в последствии.

Растения ярового ячменя выносят Zn на контроле в среднем за 3 года – 0,11 % от валового содержания его в почве. При загрязнении яровой ячмень выносит Zn в действии (в среднем за 3 года) – 0,081 % от валового содержания его в почве, в последствии – 0,095 %.

Вынос Pb с урожаем ячменя (зерно + солома) составлял на контроле – 9,3 г/га. Меньшая величина его выноса по сравнению с Zn связана с тем, что согласно КБП Pb относится к группе элементов слабого и очень слабого захвата.

При загрязнении вынос Pb существенно увеличился – до 53,6 г/га в действии и 43,1-36,1 г/га в последствии. Необходимо отметить, что большее возрастание подвижности Pb в почве по сравнению с Zn при внесении их в почву в большей степени увеличило его вынос с урожаем ярового ячменя.

Растения ярового ячменя выносят Pb на контроле в среднем за 3 года – 0,18 % от валового содержания в почве. При загрязнении яровой ячмень выносит Pb в действии (в среднем за 3 года) – 0,022 % от валового содержания в почве, в последствии – 0,018 %. Это объясняется тем, что в соответствии с коэффициентом биологического поглощения Pb относится к группе элементов слабого и очень слабого захвата.

Заключение. Загрязнение Zn и Pb ведет к повышению содержания металлов во всех органах ячменя. Биологический вынос ТМ с урожаем ярового ячменя также увеличивается. Влияние Pb на качество зерна ячменя выражено сильнее (превышение ПДК Pb в 5 раз, Zn – в 1,3 раза). В последующие годы транслокация Zn и Pb в растения снижается. Вместе с тем, наблюдается стойкое загрязнение ими растительной продукции в течение трех лет после загрязнения. Основную барьерную функцию по инактивации исследуемых ТМ выполняют корни растений. Внесение ТМ способствовало увеличению их количества в корнях ячменя: Pb – в 4 раза, Zn – в 9 раз.

Устойчивость ячменя к загрязнению Zn выше, чем к загрязнению Pb. Это выражается в значительном увеличении высоты барьера на границе корень-стебель и уменьшении величины КБП. При внесении Pb в почву установлена обратная тенденция. Отмеченные закономерности сохраняются и в последствии. Различия в накопления элементов связаны с биохимической ролью металлов в растениях и способами их поглощения и переноса. У цинка хорошо выражена базипетальная направленность, у свинца – акропетальная. Расчет коэффициента накопления (Кн) ТМ предлагается проводить с учетом всей группы подвижных соединений ТМ в почве.

Список использованных источников

1 Минкина, Т. М. Качество зерна пивоваренного ячменя при техногенном загрязнении чернозема обыкновенного / Т. М. Минкина, В. С. Крыщенко, С. В. Федосеенко // Научная мысль Кавказа. – 2003. – Вып. 2 (прил.). – С. 119-123.

2 Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.

3 Экологический атлас Ростовской области / под ред. В. Е. Закруткина. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. – 120 с.

4 Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Колос, 1968. – 336 с.

5 Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. – М.: ЦИНАО, 1993.

6 Агафонов, Е. В. Тяжелые металлы в черноземах Ростовской области / Е. В. Агафонов // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. – Новочеркасск, 1994. – С. 22-26.

7 Мамилов, Ш. З. Цинк в почвах и питание растений цинком / Ш. З. Мамилов, А. К. Саданов, А. П. Илялетдинов // Агрохимия. – 1987. – № 4. – С. 107-115.

8 Закруткин, В. Е. Некоторые аспекты распределения меди и цинка в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области / В. Е. Закруткин, Д. Ю. Шишкина // Тяжелые металлы в окружающей среде: материалы междунар. симпозиума. – Пущино, 1996. – С. 101-109.

9 Лукин, С. В. Закономерности накопления цинка в сельскохозяйственных растениях / С. В. Лукин, И. Е. Солдат, Е. А. Пендюрин // Агрохимия. – 1999. – № 2. – С. 79-82.

10 Кондрахин, И. П. Алиментарные и эндокринные болезни животных / И. П. Кондрахин. – М.: Агропромиздат, 1989. – 256 с.

11 Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

12 Азаров, Б. Ф. Содержание тяжелых металлов в сахарной свекле и ячмене в зависимости от их концентрации в почве и уровня удобрённости / Б. Ф. Азаров, В. Д. Соловиченко // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 5. – С. 31-35.

13 Закруткин, В. Е. Некоторые аспекты распределения свинца в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области / В. Е. Закруткин, Р. П. Шкафенко // Материалы междунар. симпозиума «Тяжелые металлы в окружающей среде». – Пущино, 1996. – С. 110-117.

14 Гармаш, Г. А. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Гармаш Григорий Александрович. – Новосибирск, 1985. – 16 с.

15 Покровская, С. Ф. Приемы детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами / С. Ф. Покровская // Агропромышленное производство: опыт, проблемы и тенденции развития. – М., 1995. – Вып. 3. – С. 51-59.

16 Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. – М., 1990. – 54 с.

17 Тяжелые металлы в системе почва – растение / Б. А. Ягодин [и др.] // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 5. – С. 43-45.

18 Матвеев, Н. М. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье / Н. М. Матвеев, В. А. Павловский, Н. В. Прохорова. – Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1997. – 220 с.

19 Минкина, Т. М. Некоторые морфобиометрические параметры ярового ячменя на черноземе обыкновенном при антропогенном воздействии / Т. М. Минкина, С. В. Федосеенко, В. С. Крыщенко // Доклады II Междунар. науч.-практ. конф. «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде». – Семипалатинск: Изд-во Семипалатин-

ского гос. университета им. Шакарима, 2002. – Т. 2. – С. 253-257.

20 Зялалов, А. А. Поступление тяжелых металлов в томаты в гидроронной культуре / А. А. Зялалов, В. А. Плеханова, И. Г. Ганиев // Агрохимия. – 2002. – № 8. – С. 82-85.

21 Минкина, Т. М. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного / Т. М. Минкина, Г. В. Мотузова, О. Г. Назаренко // Почвоведение. – 2006. – № 7. – С. 804-811.

22 Свинец в окружающей среде. – М.: Наука, 1987. – 181 с.

Минкина Татьяна Михайловна – доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов факультета биологических наук, профессор.
Контактный телефон: 8-863-263-75-31. E-mail: tminkina@mail.ru

Minkina Tatyana Mikhailovna – Doctor of Biological Sciences, Professor, Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Professional Education «Southern Federal University», Department of Soil and land evaluation department of biological sciences, Professor.

Contact telephone number: 8-863-263-75-31. E-mail: tminkina@mail.ru

Бурачевская Марина Викторовна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов факультета биологических наук, аспирант.

Контактный телефон: 8-863-263-75-31. E-mail: biolog@sfnu.ru

Burachevskaya Marina Viktorovna – Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Professional Education «Southern Federal University», Department of Soil and land evaluation department of biological sciences, PhD student.

Contact telephone number: 8-863-263-75-31. E-mail: biolog@sfnu.ru

Чаплыгин Виктор Анатольевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет», кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов факультета биологических наук, аспирант.

Контактный телефон: 8-863-2248435. E-mail: otshelnic87@mail.ru

Chaplygin Victor Anatolievich – Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Professional Education «Southern Federal University», Department of Soil and land evaluation department of biological sciences, PhD student.

Contact telephone number: 8-863-2248435. E-mail: otshelnic87@mail.ru

Бакоев Сирожидин Юсуфович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный аграрный университет», старший преподаватель кафедры высшей математики и физики.

Контактный телефон: +7-918-551-81-16. E-mail: siroj1@yandex.ru

Bakoev Sirozhidin Yusufovich – Federal State Budget Educational Establishment of Higher Professional Education «Don State Agrarian University», Senior Lecturer Department of Higher Mathematics and Physics.

Contact telephone number: +7-918-551-81-16. E-mail: siroj1@yandex.ru

Антоненко Елена Михайловна – кандидат технических наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», заведующая эколого-аналитической лабораторией.

Контактный телефон: 8-8635-26-51-03. E-mail: antonenko1102@yandex.ru

Antonenko Elena Mikhailovna – Candidate of Technical Sciences, Federal state budget scientific establishment «The Russian scientific research institute of land improvement problems», Head of Environmental and analytical laboratory.

Contact telephone number: 8-8635-26-51-03. E-mail: antonenko1102@yandex.ru

Белогорская Светлана Сергеевна – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», главный специалист эколого-аналитической лаборатории.

Контактный телефон: 8-8635-26-51-03. E-mail: rosnipm@novoch.ru

Belogorskaia Svetlana Sergeyevna – Federal state budget scientific establishment «The Russian scientific research institute of land improvement problems», Chief Officer of Environmental and analytical laboratory.

Contact telephone number: 8-8635-26-51-03. E-mail: rosnipm@novoch.ru