

УДК 546.47:581.5

ТРАНСЛОКАЦИЯ ЦИНКА И СВИНЦА НА ТЕХНОГЕННО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ

© 2006 г. Т.М. Минкина¹

По результатам полевого опыта установлены различия в распределении цинка и свинца по органам ярового ячменя, выращенного на незагрязненном и загрязненном черноземе обыкновенном. Показано, что основную барьерную функцию по инактивации исследуемых тяжелых металлов выполняют корни растений. Устойчивость ячменя к загрязнению почв цинком выше, чем свинцом. Исследована транслокация металлов в течение трех лет с момента загрязнения.

В современных условиях сельскохозяйственные товаропроизводители нередко сталкиваются с необходимостью производить продукцию на землях, в разной степени загрязненных тяжелыми металлами (ТМ). Известно, что загрязнение почв ТМ оказывает негативное влияние на возделываемые культуры, снижая количество и качество получаемой продукции, последнее является основным критерием ее использования. Поскольку 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 организм 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 загрязнения среды ТМ [1].

В настоящее время в литературе нет достаточно данных о накоплении ТМ в растениях из-за влияния на этот процесс многих факторов: почвенно-климатических условий, свойств за-

грязняющих веществ, вида и возраста растений.

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

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

При исследовании был проведен мелкоделяночный полевой опыт. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный мощный слабогумусированный тяжелосуглинистый 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. Обеспеченность подвижным фосфором оценивается как высокая, обменным калием – повышенная [2]. Были выбраны наиболее часто встречающиеся на территории Ростовской области поллютанты – цинк и свинец. ТМ вносили отдельно в форме легкорастворимых ацетатных солей с осени в сухом виде в пахотный горизонт (0–20 см) и тщательно перемешивали с почвой. Учетная площадь опытных деленок 1 м². Схема опыта включала следующие варианты: 1) контроль; 2) металл. В одной серии опытов вносили цинк в дозе 300 мг/кг почвы, в другой – свинец в дозе 96 мг/кг почвы. Дозы внесения соответствуют трем предельно допустимым концентрациям (ПДК) по валовым формам (ПДК Zn – 100 мг/кг, ПДК Pb – 32 мг/кг) и соотнесены с имеющимся уровнем загрязнения ими почв Ростовской области [3].

Исследуемая культура – яровой ячмень (*Hordeum sativum distichum*) сорта “Одесский-100”.

¹ Ростовский государственный университет, Ростов-на-Дону.

Таблица 1. Основные показатели климата Государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) "Ростовский" в 2000–2002 гг.

Показатели	2000 г.	2001 г.	2002 г.	Среднее значение
Число дней с относительной влажностью < 30%	16	29	48	31
Осадки, всего за год, мм	625,5	805,7	550,2	660,5
Осадки, апрель–октябрь, мм	393,1	469,0	327,7	396,6
Сумма активных температур ($t > 10^\circ\text{C}$), $^\circ\text{C}$	3698	3306	3456	3487
Среднегодовая температура воздуха, $^\circ\text{C}$	+9,99	+9,98	+10,23	+10,07
Гидротермический коэффициент, за год	1,06	1,42	0,95	1,14
Минимальная температура воздуха, $^\circ\text{C}$	–18,0	–19,5	–26,3	–21,3
Максимальная температура воздуха, $^\circ\text{C}$	+37,0	+37,9	+38,3	+37,7
Период активной вегетации ($t > 10^\circ\text{C}$), дней	183	180	178	180,3
Обеспеченность влагой	0,39	0,48	0,25	0,37
Суровость зимы	Умеренно мягкая	Мягкая	Мягкая	Мягкая

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. Закладку опытов, проведение наблюдений и учет, отбор растительных проб осуществляли в соответствии с методиками полевого опыта [4] на базе государственного сортоиспытательного участка (ГСУ) "Ростовский". Образцы растений отбирали в фазу полной спелости ярового ячменя.

Опыты повторяли 3 раза. Почва была искусственно загрязнена металлами в 2000–2005 гг. Изучение последствий их было начато через год с момента закладки опыта и продолжалось до 2004 г. включительно.

Во время проведения опыта складывались благоприятные погодные условия, вместе с тем некоторые климатические показатели значительно различались по годам (табл. 1). Метеоусловия 2000 и 2001 годов были достаточно благоприятными для роста и развития ярового ячменя, тогда как 2002 год был засушливым.

Общее содержание ТМ в почве определяли рентген-флюоресцентным методом. Концентрацию подвижных соединений металлов в почве – методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС). Для их экстракции применяли 1N аммонийно-ацетатный буфер ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) – ААБ, pH 4,8 (при соотношении почва : раствор 1 : 5, время экстракции 18 ч), 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 анализом на ААС.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что общее содержание Zn в почве на контрольных участках за 3 года исследования составило в среднем 67 мг/кг (табл. 2). 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 в контроле составляет 21,6–24,8 мг/кг (табл. 3), что отвечает их фоновому содержанию [7–9]. Концентрация Zn в стеблях была на уровне 16,6–18,7 мг/кг и оценивалась как дефицитная (< 20 мг/кг) [10].

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 была несколько ниже, чем в зерне (табл. 3), т. е. корни не выполняли барьерную функцию в отношении этого элемента. Такое распределение Zn в ячмене, по-видимому, связано с недо-

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в черноземе обыкновенном в течение трех лет после загрязнения

Варианты опыта	Общее содержание после загрязнения			Подвижная форма после загрязнения		
	1-й год	2-й год	3-й год	1-й год	2-й год	3-й год
Цинк						
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
НСР ₀₅ *	11,4	14,9	24,1	5,2	3,8	2,5
Свинец						
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
НСР ₀₅	8,6	2,5	9,9	3,6	3,0	2,1

* НСР – наименьшая существенная разность.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в различных органах растений ярового ячменя, мг/кг

Варианты опыта	2000 г.			2001 г.			2002 г.			Среднее значение за 3 года		
	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни
Цинк												
Контроль	22,6	17,3	19,4	24,8	18,7	21,3	21,6	16,6	19,0	23,0	17,5	19,9
Металл	65,3	74,8	207,2	68,2	75,7	222,1	62,7	69,6	182,6	65,4	73,4	204,0
НСР ₀₅	4,4	7,4	8,3	5,2	8,2	9,2	4,8	6,6	8,7	4,0	5,6	8,4
Свинец												
Контроль	0,4	1,4	4,1	0,3	1,7	4,4	0,3	1,2	4,7	0,3	1,4	4,4
Металл	2,4	10,2	17,4	2,0	9,0	20,6	3,0	7,3	19,2	2,5	8,8	19,1
НСР ₀₅	0,2	0,3	1,4	0,2	0,9	2,9	0,2	0,2	2,5	0,4	1,5	2,4

татком его подвижных форм в карбонатном черноземе (табл. 2).

Известно, что на количество Zn в зерновых культурах оказывают существенное влияние условия влажности. Некоторое повышение содержания Zn во всех органах ячменя в 2001 г. как в действии, так и впоследствии объясняется тем, что вегетационный период этого года был очень влажным. Благоприятные погодные условия данного года способствовали лучшей обеспеченности ячменя важным микроэлементом – цинком.

Общее содержание Pb в черноземе обыкновенном на незагрязненном черноземе составляет 25,0 мг/кг (табл. 2). Количество подвижных форм Pb в 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 0,3 до 0,4 мг/кг

(табл. 3). 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. Большее по сравнению с другими частями растений 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 (рис. 1): для цинка – зерно > корни > стебли; для свинца – корни > стебли > зерно. Причем различия в содержании Pb в исследуемых органах растений выражены сильнее, чем в содержании Zn.

Загрязнение чернозема обыкновенного ТМ привело к накоплению их в растениях (табл. 3). 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 табл. 2, превышение ПДК по подвижным формам Pb также больше, чем по Zn.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что содержание цинка и свинца достоверно варьирует в разных вариантах опыта (контроль и загрязнение) и органах растений (ANOVA: $F = 23,9$; $P < 0,001$ и $F = 105,6$; $P < 0,001$). Взаимодействие факторов также существенно сказывается на содержании обоих металлов (ANOVA: $F = 215,2$; $P < 0,001$).

В загрязненной почве происходят существенные изменения в перераспределении металлов по органам ярового ячменя (рис. 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 10 раз. Соотношение зерно : стебли : корни в контроле составляет 1 : 1 : 1; при загрязнении – 1 : 1 : 3.

Следовательно, основную барьерную функцию по снижению поступления Zn в растениях 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].

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 контролю

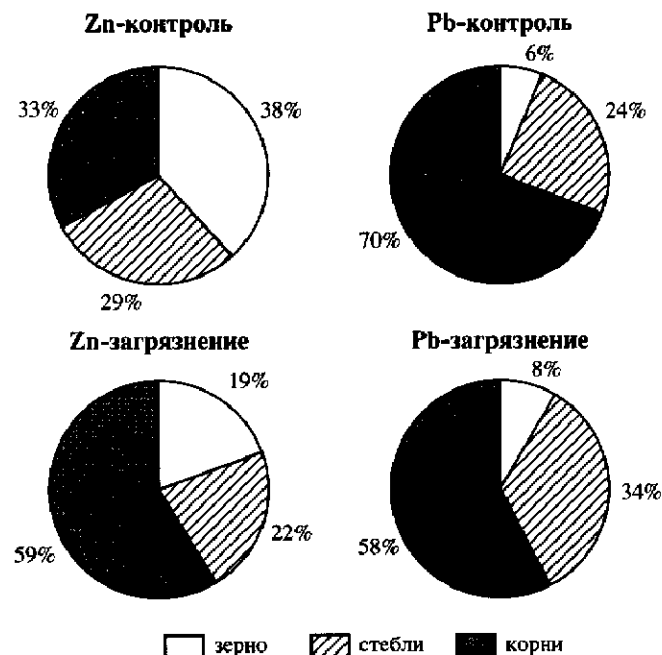


Рис. 1. Распределение Zn и Pb по органам ярового ячменя

характер (рис. 1): больше всего элемента находится в корнях, далее – в стеблях и меньше – в зерне. Соотношение зерно : стебли : корни в 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 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 в 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 микроэлементом, в то время как какую-либо особую роль свинца, присутствующего во всех растениях в природных условиях, в метаболизме до настоящего времени выявить не удалось. Поэтому у растений в процессе эволюции не выработано специальных механизмов по детоксикации этого поллютанта.

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.

Таблица 4. Среднее содержание тяжелых металлов в различных органах растений ярового ячменя в течение 3 лет после загрязнения почвы, мг/кг

Варианты опыта	После загрязнения								
	1-й год			2-й год			3-й год		
	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни	зерно	стебли	корни
Цинк									
Контроль	23,0	17,5	19,9	24,2	18,1	20,6	22,7	17,9	19,5
Металл	65,4	73,4	20,4	58,7	67,4	185,7	51,2	58,0	160,2
НСР ₀₅	4,0	5,6	8,4	4,8	4,4	12,8	3,7	9,8	11,0
Свинец									
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
НСР ₀₅	0,4	1,5	2,4	0,4	0,9	4,4	н/о	1,3	5,1

Подтверждением этому служит менее существенное уменьшение основных морфометрических и качественных характеристик растений под влиянием цинка по сравнению с влиянием свинца [19]. Определенную роль играет и различная степень увеличения их подвижных форм при загрязнении почвы (табл. 2).

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 ограничено. Главный процесс, с которым связано накопление Pb в тканях корней, – это отложение на стенках клеток.

Ограничение поступления ТМ в надземную часть растений – один из механизмов, определяющих устойчивость растений к повышенному содержанию металла в почве. 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 (табл. 4).

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.

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 изменилась незначительно (табл. 4). Следовательно, доля участия корней в накоплении металла постепенно возрастает и 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 временем.

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

Установлено, что в контрольных вариантах все органы растений использовали соединения ТМ наиболее полно (табл. 5). 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.

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. Для Zn 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 происходит в основном пассивный перенос.

Оценивая величину КБП, следует отметить, что вегетативные органы накапливают больше поллютантов, чем генеративные, особенно свинца.

Данные корреляционного анализа показывают умеренную связь между общим содержанием металлов в почве и в растениях (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. Подвижные формы металлов извлекаются вытяжкой ААБ.

Самые высокие величины КН, как и КБП, характерны для растений, выросших на незагрязненной почве (табл. 5). При загрязнении почвы установлено значительное снижение КН для обоих металлов, что, вероятно, обусловлено защитной реакцией растений на избыток элементов в почве. Наиболее существенное 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 КБП уменьшается, а КН возрастает. Это связано с тем, что растения могут использовать не только обменные формы элементов (экстракция 1 N 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 1 N HCl минус количество 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 (зерно + солома) в среднем за 3 года составил в контроле 170,3 г/га. Во влажные годы вынос возрастает в связи с ростом биомассы до 225,5 г/га. В вариантах загрязнения наблюдается значительное увеличение выноса элемента растениями до 634,2 г/га.

Вынос Pb с урожаем ячменя (зерно + солома) составлял в 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.

Таблица 5. Коэффициент биологического поглощения (КБП) и коэффициент накопления (КН) Zn и Pb органами растений ярового ячменя в течение 3 лет после загрязнения почвы

Варианты опыта	После загрязнения Zn						После загрязнения Pb					
	1-й год		2-й год		3-й год		1-й год		2-й год		3-й год	
	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

ВЫВОДЫ

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 10 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.

Расчет коэффициента накопления (КН) ТМ предлагается проводить с учетом всей группы подвижных соединений ТМ в почве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Минкина Т.М., Крыщенко В.С., Федосеенко С.В. Качество зерна пивоваренного ячменя при техногенном загрязнении чернозема обыкновенного // Научная мысль Кавказа. 2003. Приложение. Вып. 2. С. 119–123.
- Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
- Экологический атлас Ростовской области / Под ред. В.Е. Закруткина. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 120 с.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. 336 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в кормах и растениях и их подвижных соединений в почвах. М.: ЦИНАО, 1993. 26 с.
- Агафонов Е.В. Тяжелые металлы в черноземах Ростовской области // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах: Сб. науч. ст. Новочеркасск, 1994. С. 22–26.
- Мамилов Ш.З., Саданов А.К., Илялетдинов А.П. Цинк в почвах и питание растений цинком // Агрохимия. 1987. № 4. С. 107–115.
- Закруткин В.Е., Шишкина Д.Ю. Некоторые аспекты распределения меди и цинка в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области // Тяжелые металлы в окружающей среде: Мат-лы межд. симпозиума. Пушино, 1996. С. 101–109.
- Лукин С.В., Солдат И.Е., Пендюрин Е.А. Закономерности накопления цинка в сельскохозяйственных растениях // Агрохимия. 1999. № 2. С. 79–82.
- Кондрахин И.П. Алиментарные и эндокринные болезни животных. М.: Агропромиздат, 1989. 256 с.
- Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
- Азаров Б.Ф., Соловichenko В.Д. Содержание тяжелых металлов в сахарной свекле и ячмене в зависимости от их концентрации в почве и уровня удобренности // Химия в сельском хозяйстве. 1995. № 5. С. 31–35.
- Закруткин В.Е., Шкафенко Р.П. Некоторые аспекты распределения свинца в почвах и растениях агроландшафтов Ростовской области // Тяжелые металлы в окружающей среде: Мат-лы межд. симпозиума. Пушино, 1996. С. 110–117.
- Гармаш Н.Ю. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях вокруг металлургических предприятий: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1985. 16 с.
- Покровская С.Ф. Приемы детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агропромышленное производство: опыт, проблемы и тенденции развития: Сб. Вып. 3. М., 1995. С. 51–59.
- Медиико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. М., 1990. 54 с.
- Ягодин Б.А., Кидин В.В., Цвирко Э.А., Маркелова В.Н., Саблина С.М. Тяжелые металлы в системе почва – растение // Химия в сельском хозяйстве. 1996. № 5. С. 43–45.
- Матвеев Н.М., Павловский В.А., Прохорова Н.В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1997. 220 с.
- Минкина Т.М., Федосеенко С.В., Крыщенко В.С. Некоторые морфобиометрические параметры ярового ячменя на черноземе обыкновенном при антропогенном воздействии // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде: Докл. II Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Симпалатинск: Изд-во Симпалатинского гос. университета им. Шакарима, 2002. С. 253–257.
- Зялалов А.А., Плеханова В.А., Ганиев И.Г. Поступление тяжелых металлов в томаты в гидроронной культуре // Агрохимия. 2002. № 8. С. 82–85.
- Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2006. № 7. С. 804–811.

**TRANSLOCATION OF ZINK AND LEAD
ON TECHNOGENIC POLLUTED SOIL****T.M. Minkina**

The differences of Zn and Pb distribution in the body of barley cultivated on unpolluted and polluted chernozem were established in field experiment. The experiment shows that roots of plants carry out the main barrier function to heavy metals inactivation. The resistance of barley to soil pollution by Zn is higher than to Pb. The heavy metal translocation was investigated during three years after pollution.

REFERENCES

1. Minkina T.M., Kryshchenko V.S., Fedoseenko S.V. 2003. [Grain quality of malting barley at technogenic pollution in ordinary chernozem]. *Nauchnaya mysl' Kavkaza*. (2): 119–123. (In Russian).
2. Mineev V.G. 1989. *Praktikum po agrokhimii*. [Workshop of Agricultural Chemistry]. Moscow, Moscow State University Publ.: 304 p. (In Russian).
3. Zakrutkin V.E. 2000. *Ekologicheskiy atlas Rostovskoy oblasti*. [Environmental Atlas of the Rostov region]. Rostov-on-Don: 120 p. (In Russian).
4. Dospekhov B.A. 1968. *Metodika polevogo opyta*. [Methods of field experience]. M., Kolos Publ.: 336 p. (In Russian).
5. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v kormakh i rasteniyakh i ikh podvizhnykh soedineniy v pochvakh*. [Guidelines for the determination of heavy metals in feed and plants and their mobile compounds in the soil]. 1993. M.: 26 p. (In Russian).
6. Agafonov E.V. 1994. [Heavy metals in chernozems of the Rostov region]. In: *Tyazhelye metally i radionuklidy v agroekosistemakh. Sbornik nauchnykh statey*. [Heavy metals and radionuclides in agroecosystems. Collection of scientific articles]. Novocherkassk: 22–26. (In Russian).
7. Mamilov Sh.Z., Sadanov A.K., Ilyaletdinov A.P. 1987. [Zinc in soils and plant nutrition]. *Agrokhimiya*. (4): 107–115. (In Russian).
8. Zakrutkin V.E., Shishkina D.Yu. 1996. [Some aspects of the distribution of copper and zinc in soils and plants of agricultural landscapes of the Rostov region]. In: *Tyazhelye metally v okruzhayushchey srede. Materialy mezhd. simpoziuma*. [Heavy metals in the environment. Proceedings of the international Symposium]. Pushchino: 101–109. (In Russian).
9. Lukin S.V., Soldat I.E., Pandyurin E.A. 1999. [Laws of accumulation of zinc in agricultural plants]. *Agrokhimiya*. (2): 79–82. (In Russian).
10. Kondrakhin I.P. 1989. *Alimentarnye i endokrinnye bolezni zhivotnykh*. [Nutritional and endocrine diseases of animals]. M., Agropromizdat Publ.: 256 p. (In Russian).
11. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. 1989. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh*. [Trace elements in soils and plants]. M., Mir Publ.: 439 p. (In Russian).
12. Azarov B.F., Solovichenko V.D. 1995. [The heavy metals content in the sugar beet and barley depending on their concentration in the soil and the level of fertilizer]. *Khimiya v sel'skom khozyaystve*. (5): 31–35. (In Russian).
13. Zakrutkin V.E., Shkafenko R.P. 1996. [Some aspects of the distribution of lead in soils and plants of agricultural landscapes of the Rostov region]. In: *Tyazhelye metally v okruzhayushchey srede. Materialy mezhd. simpoziuma*. [Heavy metals in the environment. Proceedings of the International Symposium]. Pushchino: 110–117. (In Russian).
14. Garmash N.Yu. 1985. *Nakoplenie tyazhelykh metallov v pochvakh i rasteniyakh vokrug metalurgicheskikh predpriyatiy*. Avtoref. dis... kand. biol. nauk. [Accumulation of heavy metals in soils and plants around the metallurgical enterprises. PhD Abstract]. Novosibirsk: 16 p. (In Russian).
15. Pokrovskaya S.F. 1995. [Receptions detoxification of soils contaminated by heavy metals]. *Agropromyshlennoe proizvodstvo: opyt, problemy i tendentsii razvitiya. Sbornik*. [Agricultural production: experience, problems and development trends. Collection]. Issue 3. Moscow: 51–59. (In Russian).
16. *Mediko-biologicheskie trebovaniya i sanitarnye normy kachestva prodovol'stvennogo syr'ya i pishchevykh produktov*. [Medical and biological requirements and sanitary norms of quality food raw materials and food products]. 1990. Moscow: 54 p. (In Russian).
17. Yagodin B.A., Kidin V.V., Tsvirko E.A., Markelova V.N., Sablina S.M. 1996. [Heavy metals in soil-plant system]. *Khimiya v sel'skom khozyaystve*. (5): 43–45. (In Russian).
18. Matveev N.M., Pavlovskiy V.A., Prokhorova N.V. 1997. *Ekologicheskie osnovy akkumulyatsii tyazhelykh metallov sel'skokhozyaystvennyimi rasteniyami v lesostepnom i stepnom Povolzh'e*. [Ecological bases of heavy

metals accumulation by crops in the forest steppe and steppe Volga region]. Samara, Samara University Publ.: 220 p. (In Russian).

19. Minkina T.M., Fedoseenko S.V., Kryshchenko V.S. 2002. [Some morphological biometric parameters of spring barley on ordinary chernozem under anthropogenic impact]. In: *Tyazhelye metally, radionuklidy i elementy-biofily v okruzhayushchey srede. Doklady II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf.* [Heavy metals, radionuclides and elements-biofile in the environment. Reports II International scientific-practical conference]. Vol. 2. Semipalatinsk, State University Publ.: 253–257. (In Russian).
20. Zyalalov A.A., Plekhanova V.A., Ganiev I.G. 2002. [Release of heavy metals in hydroponic tomatoes in culture]. *Agrokimiya*. (8): 82–85. (In Russian).
21. Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G. 2006. [The interaction of heavy metals with organic matter of ordinary chernozem]. *Pochvovedenie*. (7): 804–811. (In Russian).