

Трансформационная способность свинца в агроценозах Оренбуржья

О.Я. Соколова, к.б.н., О.А. Науменко, к.м.н., Е.В. Бибарцева, к.м.н., ФГБОУ Оренбургский ГУ; Т.Н. Васильева, к.б.н., Оренбургский НЦ УрО РАН

Антропогенное загрязнение экосистемы Оренбуржья приводит к дисбалансу биогеохимического элементного состава почвы и, как результат, ускоряет разнообразные трансформационные процессы, что влечёт за собой дисбаланс минеральной составляющей в цепи биогеоценоза и в целом всей экоси-

стемы [1–4]. Один из мотивов поступления тяжёлых металлов в экосистему – это размещение вблизи от автодорог различных промышленно-аграрных объединений, сельхозугодий, полей и хозяйств, а также энергично работающих индустриально-промышленных комплексов, квалифицирующихся по категории выбросов и загрязнений к I классу опасности. Мощное антропогенное действие на окружающую среду оказывает влияние и на изменение биогеохимической ситуации погра-

ничных районов, территорий области и региона в целом [8–10].

Несмотря на значительное обилие экспериментального поиска в области биогеохимии микроэлементов в почвенном покрове Оренбуржья, многие задачи остаются мало изученными и требуют дальнейших исследований. Задачами начального этапа исследования и его **целью** являются: 1. Проведение мониторингового и лабораторного исследования на определение непрочно связанных форм соединений свинца в системе «почва – ячмень» Гайского и Светлинского районов Оренбургской области; 2. Сравнительный анализ трансформации свинца в системе «почва – ячмень» Гайского и Светлинского районов Оренбургской области.

Материал и методы исследования. Объектом исследования являлись почвы Светлинского и Гайского районов восточной зоны Оренбургской области, почвенный покров которых представлен преимущественно тёмно-каштановыми и чернозёмом обыкновенным соответственно. Тест-культурой выступал ячмень двурядный сорта Одесский 100, произрастающий на вышеуказанных почвах. В мониторинговом (агрофитоценозы) и лабораторном исследовании (прямое моноэлементное внесение соли свинца в почву) использовали методические указания, ГОСТ 17.4.2.01-81, ГОСТ 17.4.3.04-85 [5–7]. Пробоотбор почвы проводили в соответствии с ГОСТом 17.4.3.01-83, ГОСТом 17.4.4.02-84, ГОСТом 28168-89. Глубина забора почвы составляла 0–20 см. Пробоотбор ячменной тест-культуры осуществлялся в соответствии с ГОСТом Р 53900-2010. «Ячмень кормовой» [3]. Формы соединений свинца в почвах анализировали методом атомно-абсорбционной спектроскопии [3].

Полученные показатели исследования были статистически обработаны с помощью пакета программ Microsoft Excel 2013, Primerof Biostatistics 4.03. Для расчёта достоверности различий полученных данных применяли t-критерий Стьюдента – Фишера по Г.Ф. Лакину.

Результаты исследования. Одним из основных критериев оценки степени подвижности свинца является изучение непрочно связанных форм свинца

в почве и его транслокация, т.е. вероятность превращения элемента в водорастворимую форму в вегетативных органах растения. Этот факт во многом зависит от физиологической способности самого растения, его степени гипераккумуляции к определённым контаминантам, а также защитным свойствам корневой системы растения, буферной способности почвы по отношению к свинцу и степени карбонатности почвы. Поскольку почвенный биоценоз – это важнейший первоисточник элементов для растений, корневая система которых способна сорбировать поллютанты динамично (метаболически) и инертно (неметаболически), значительная часть случаев скорости абсорбирования элементов положительно коррелирует с концентрацией их доступных форм. Фитоэкстракционный потенциал свинца ограничивается низкой подвижностью почвы и небольшой склонностью свинца всасываться корнями. Исследования последних лет концентрируют внимание на искусственной мобилизации свинца из твёрдых частиц почвы с помощью ряда хелатирующих веществ. Так, Vlayetal. (1997) [8] показал, что при внесении комплексных хелатных соединений биодоступность свинца и других металлов значительно увеличивается.

Для оценки подвижности свинца на региональном уровне в системе почва – растение были проведены два этапа исследования – мониторинговый (агрофитоценозов) и лабораторный. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Результаты мониторингового исследования показали, что валовые формы и непрочно связанные соединения исследуемого элемента не превышают ПДК и составляют 25,13 и 3,01 мг/кг ($P < 0,05$) для чернозёма обыкновенного и 20,79 и 3,11 мг/кг ($P < 0,05$) для тёмно-каштановой почвы. В то же время необходимо заметить, что в тёмно-каштановой почве часть непрочно связанных соединений, доступных для растений, больше, чем в чернозёме обыкновенном. А именно: в среднем в тёмно-каштановых почвах она составляет 3,11 мг/кг ($P < 0,05$), а в чернозёме обыкновенном – 3,01 мг/кг ($P < 0,05$), что на 3,2% больше.

На лабораторном этапе эксперимента планировалось изучить воздействие различных concentra-

1. Среднее содержание и распределение непрочно связанных форм соединений свинца в почве, мг/кг ($X \pm Sx$)

Концентрация соли металла, мг/кг	Чернозём обыкновенный				Тёмно-каштановая почва			
	ВФ	НС	ПС	K_n	ВФ	НС	ПС	K_n
Мониторинговый этап								
Без внесения	25,13±0,174*	3,01±0,004*	22,12±0,098*	0,13	20,79±0,007*	3,11±0*	17,68±±0,001*	0,17
Лабораторный этап								
6	32,0±0,383	3,84±0	28,1±0,007	0,13	27±0,007	4,0±0,007	23±0,007	0,17
32	58,0±0,174	8,12±0,098	49,8±0,004	0,16	55±0,004	8,25±0,004	46,7±0,004	
100	126,0±0,007	31,5±0,001	94,5±0	0,33	118±0	35,4±0	82,6±0	

Примечание: * – $P < 0,05$ для различий с группой без внесения ацетата свинца; ВФ – валовые формы; НС – непрочно связанные соединения; ПС – прочно связанные формы; K_n – коэффициент подвижности

ций соли вносимого элемента на вероятность перехода его в почву в разных формах.

Как следует из полученных фактов, по мере роста привносимой концентрации исследуемого элемента в почву отмечалось увеличение валовой формы, непрочно связанных и прочно связанных соединений. К тому же настоящая закономерность была свойственна двум анализируемым почвам.

При сравнении двух типов почв установлено увеличение непрочно связанных форм исследуемого элемента в тёмно-каштановой почве относительно чернозёма обыкновенного на фоне увеличения концентрации свинца. Например, при попадании в почву ацетата свинца (доза внесения 6; 32; 100 мг/кг) степень увеличения составит 1,04; 1,01; 1,12 раза соответственно.

Далее нами было изучено содержание непрочно связанных соединений свинца в органах ярового ячменя, выращенного на исследуемых почвах, подвергнутых моноэлементному внесению соли свинца в чернозём обыкновенный и тёмно-каштановые почвы. Результаты исследования представлены в таблице 2.

Идя по пути аналогий, можно вполне обоснованно утверждать, что достаточно прочно установилась тенденция накопления непрочно связанных соединений свинца в вегетативных органах ячменя: стебель → зерно в мониторинговом исследовании. Данная тенденция имеет отражение и в лабораторном опыте на фоне увеличения доли привносимой концентрации исследуемого свинца в почву. Кроме того, настоящая закономер-

ность свойственна всем подтипам анализируемых почв. А именно: для чернозёма обыкновенного доля НС в зерне в среднем на 50% оказалась меньше, чем в стебле, а для тёмно-каштановой почвы – на 15%.

Как известно, процесс трансформации свинца протекает в две стадии: ускоренная, с образованием мобильных форм соединений, и медленная, с формированием более прочно связанных соединений металла. Воздействие показателя времени на абсорбцию металла растениями возможно определить с помощью коэффициента накопления по непрочно связанным соединениям. Расчёт коэффициента накопления (КН) непрочно связанных соединений свинца органами ячменя представлен в таблице 3.

Необходимо подчеркнуть, что с увеличением концентрации свинца в почве наблюдается в основном его пассивный перенос в растения. Это происходит вследствие защитных процессов растения:

– в некоторых случаях рост аккумуляции металла в растении отстаёт от повышения его мобильных форм в почве;

– рекомбинация металла по вегетативным органам растений происходит, когда аккумуляция металла отстаёт от накопления в соломе.

Отсюда следует, что полученные результаты коэффициента накопления, с одной стороны, указывают на защитные возможности системы почва – растения, формируя тем самым представление об изменении подвижности свинца в почве, а с другой – ответ на это растений.

2. Содержание свинца в органах ярового ячменя при моноэлементном загрязнении чернозёма обыкновенного и каштановой почвы, мг/кг ($X \pm Sx$)

Вегетативный орган ячменя	Без внесения металла (мониторинговый этап исследования)	Доза внесения металла, мг/кг (лабораторный этап исследования)		
		6	32	100
Чернозём обыкновенный (Гайский район)				
Зерно	0,42±0	0,5±0,173	1,74±0,097	3,9±0,012
Стебель	1,39±0,001	1,0±0,006	2,7±0,001	4,7±0,128
Тёмно-каштановая почва (Светлинский район)				
Зерно	0,67±0,098	0,81±0,003	2,3±0,004	3,9±0,376
Стебель	0,97±0,013	1,3±0	3,3±0	5,8±0,156

Примечание: * – $P < 0,05$ для различий с группой непрочно связанных соединений в чернозёме обыкновенном 3,01 мг/кг и тёмно-каштановой почве 3,11 мг/кг (без дополнительного внесения ацетата свинца)

3. Коэффициент накопления (КН) непрочно связанных соединений свинца органами ячменя

Концентрация внесения металла, мг/кг	Чернозём обыкновенный		Тёмно-каштановая почва	
	зерно	стебель	зерно	стебель
Мониторинговый этап исследования				
Без внесения	0,13	0,46	0,21	0,31
Лабораторный этап исследования				
6	0,13	0,26	0,20	0,32
32	0,21	0,33	0,27	0,4
100	0,12	0,14	0,11	0,16

Примечание: полученные результаты носили недостоверный характер в сравнении с группой без внесения

Выводы.

1. Региональные особенности поведения свинца в исследуемых почвах Оренбургской области заключаются в том, что повышенное общее содержание металла обусловлено доминированием (от 85 до 88%) их прочно связанных соединений. Большая часть прочно связанных соединений свинца, преимущественно удерживаемых карбонатами (специфически сорбированные), составляет от 5 до 12%;

2. Загрязнение почв свинцом в вегетационном опыте, а также на мониторинговых площадках приводит к нарушению равновесия. Так, прочность связи металла с почвенными компонентами уменьшается. С увеличением общего содержания металла от 3 до 5 раз доля НС возрастает в 1,5 раза. Прочное удерживание внесённого свинца обеспечивается, по-видимому, органическими веществами;

3. Поглощение свинца почвой должно быть описано как процесс аккумуляции его в виде разнообразных соединений, удерживаемых адсорбционными центрами с различной устойчивостью. Первый период процесса трансформации соединений привнесённого свинца потенциально связан в целом с превращением обменных форм в комплексные с органическим веществом;

4. По причине прочно удерживать свинец, почвы образуют ряд: чернозём обыкновенный → тёмно-каштановая почва. В тёмно-каштановой почве по аналогии с чернозёмом обыкновенным обозначена большая роль обменных процессов в трансформации свинца. С повышением уровня карбонатности почв возрастает их способность прочно связывать поступающий в них металл;

5. Определена близкая взаимосвязь между величиной непрочно связанных форм свинца в почве и локализациями их в растениях.

Снижение подвижности свинца в загрязнённых почвах обусловлено устойчивой комплексобразующей способностью почвенных компонентов органического и неорганического происхождения. Это утверждение позволяет предложить мероприятия для снижения ионов свинца путём внесения мела (сорбционные свойства и комплексобразующие свойства Са) и навоза (источник органических веществ).

Литература

- ГОСТ 17.4.3.04-85. Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения / Под ред. Т.Н. Василенко. М.: Изд-во стандартов, 1984. 4 с.
- ГОСТ Р 53900-2010 Ячмень кормовой. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2011. 9 с.
- Методические указания по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоздат, 1981. С. 45–73.
- Минкина Т.М. Соединения тяжёлых металлов в почвах Нижнего Дона, их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов: автореф. дисс. ... докт. биолог. наук. Ростов-на-Дону, 2008. 18 с.
- Соколова О.Я. Валовое содержание свинца и его подвижных форм в почвах районов Оренбургской области / О.Я. Соколова, О.А. Науменко, Е.В. Бибарцева [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 12. С. 213–216.
- Раскатов А.В. Транслокация тяжёлых металлов в загрязнённой агломерации / А.В. Раскатов, В.А. Черников, В.В. Кузнецов [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2002. № 1. С. 65–100.
- Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжёлые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
- Blay, K., K. Fischer, K. Mëlter, 3. Filser, and A. Kettrup. 1997. Extraction of a copper contaminated soil material using an aminoacid-containing residue hydrolysate. 1. Cu-elution dynamics and binding-specific release. (In German, with English abstract.) *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd.* 2000. VI. 53. P. 187–222.
- Bural, G.I. D.G. Dixon, and B.R. Glick. Plant growth-promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. // *Can. J. Microbiol.* 2000. V. 46. P. 237–245.
- Hamer, D.H. 1986. *Metallothionein*. *Ann. Rev. Biochem.* 2001. IV. 21. P. 177–145.