

М.Н. Кузнецов
Е.В. Леоничева
Т.А. Роева
С.М. Мотылёва
Г.П. Малявко
С.М. Сычёв

**СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПОЧВЕ САДОВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ ЮГА НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

(Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 11-04-97572 р-центр-а)

УДК 631. 81: 643.1: 632.15

Аннотация

В садовых агроценозах Брянской и Орловской областей изучалось накопление подвижных форм тяжёлых металлов (ТМ) в профиле серых лесных почв. Подвижные формы *Cu*, *Zn* и *Pb* из почв извлекали параллельно двумя различными экстрагентами: ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с pH 4,8 и 1М раствором HNO_3 .

Количество и соотношение подвижных соединений ТМ в профиле почв под садами зависели от условий почвообразования и интенсивности антропогенной нагрузки. В интенсивном саду ГНУ ВНИИСПК (Орловская область) содержание кислоторастворимых соединений *Pb*, *Zn* и *Cu* в слое 0...60 см было в 3...6 раз выше, чем в «экологическом» саду Брянской ГСХА, имеющем низкую пестицидную нагрузку. При этом в профиле почвы интенсивного сада обнаружены лишь следовые количества водорастворимых и обменных форм *Pb* и *Zn*. Причина этого – специфическая сорбция катионов изучаемых металлов карбонатами.

Ключевые слова: садовые агроценозы, тяжёлые металлы, подвижные соединения, почвенный профиль.

M.N. Kuznetsov
E.V. Leonicheva
T.A. Roeva
S.M. Motyleva
G.P. Malyavko
S.M. Sichev

**ACCUMULATION OF HEAVY METAL MOBILE COMPOUNDS
IN ORCHARD SOILS FROM THE SOUTHERN AREA OF NON-CHERNOZEM ZONE**

Abstract

Accumulation of heavy metal (HM) mobile compounds in the profile of grey forest soils was investigated at orchard agro-coenosis of Bryansk and Orel regions. Mobile forms of *Cu*, *Zn* and *Pb* were extracted from soils simultaneously with two different extragents: acetate-ammonium buffer solution with pH 4,8 and 1M solution

HNO_3 . The first extragent characterizes the whole reserve of HM forms potentially available for plants. The second extragent extracts mainly water-soluble and interchange forms of microelements.

The quantity and correlation of HM mobile combinations in the soil profile in the orchards depended on the conditions of pedogenesis and intensity of anthropogenic load. At the intensive orchard of VNIISPK (Orel region) the content of acid-soluble combinations of *Pb*, *Zn* and *Cu* in the layer 0...60 sm was 3...6 times higher than at the "ecological" orchard of Bryansk SAA (State Agricultural Academy) that had low pesticide load. But for all that only trace quantities of water-soluble and interchange forms of *Pb* and *Zn* were found in the soil profile of the intensive orchard. The reason of that was *Pb* and *Zn* specific absorption by carbonates.

Key words: orchard agro-coenosis, heavy metals, mobile compounds, soil profile.

Введение

В общем ряду земель сельхозназначения почвы садовых агроценозов отличаются рядом специфических особенностей, которые связаны с длительным произрастанием растений в условиях монокультуры, взаимодействием корневых систем со значительно большим объёмом почвы (по сравнению с однолетними полевыми культурами), более длинным вегетационным периодом и периодом питания растений, высокой интенсивностью биологического круговорота элементов и др.

Садовые агроценозы выделяются также повышенным притоком тяжёлых металлов (ТМ), поступающих не только из техногенных источников, но и со средствами защиты растений и удобрениями. В последние десятилетия, благодаря расширению ассортимента препаратов, применение соединений *Cu* и *Zn* значительно снизилось, однако эти пестициды ещё играют существенную роль в системах защиты плодоносящих насаждений [8]. Установлено, что содержание *Cu* в почвах под садами мало зависит от содержания её в почвообразующих породах и почвообразовательных процессов в прошлом, а зависит преимущественно от продолжительности использования земель в садоводстве [2].

Превышения допустимых уровней содержания ТМ в почве садов и плодовой продукции отмечают исследователями в разных зонах садоводства, причём не всегда превышение минимальных допустимых уровней содержания тяжёлых металлов в плодах и ягодах наблюдается в садах, где превышены предельно-допустимые концентрации (ПДК) подвижных форм в почве [1]. Это свидетельствует о несовершенстве системы нормирования подвижных соединений ТМ в почвах, не учитывающей специфику конкретных систем «почва-растение», а также о необходимости изучения процессов трансформации ТМ в профиле почв под садами.

Сведения о распределении ТМ в профиле садовых почв незначительны. Такие исследования проводились преимущественно на Юге России и в Крыму

[2, 11, 15]. Имеются данные о валовом содержании ТМ в профиле серых лесных почв под ягодниками [13]. Профильное распределение подвижных форм ТМ в почвах садов Нечернозёмной зоны до настоящего времени не изучено.

Целью наших исследований было изучить особенности распределения подвижных соединений тяжёлых металлов в профиле серых лесных почв садовых агроценозов в связи с интенсивностью антропогенной нагрузки и особенностями почвообразовательных процессов.

Место проведения, объекты исследований

Исследования проводились в садах яблони, на территории Орловской и Брянской областей.

Сад Брянской государственной сельскохозяйственной академии (БГСХА) заложен в 1963 году, схема посадки 8×5 м. Почва – светло-серая лесная мощная легкосуглинистая на лессовидном суглинке.

В связи с неоднородностью микрорельефа, оказывающей существенное влияние на распределение веществ в почвенном профиле, на территории сада БГСХА почвенные разрезы были заложены на плато склона и в микрозападине.

Сад БГСХА является так называемым «экологическим» садом, обработки пестицидами в нём не проводились в течение последних 15 лет.

В Орловской области объектом исследований послужил сад интенсивного типа на полукарликовых вставочных подвоях, расположенный в садовом массиве Всероссийского НИИ селекции плодовых культур (ГНУ ВНИИСПК). Сад заложен в 1992 году, схема посадки 6×3 м. Почва – серая лесная среднесуглинистая на лессовидном суглинке, подстилаемом доломитовыми известняками.

Методика исследований

Образцы почвы отбирали из разрезов послойно до глубины 200 см. В образцах по стандартным методикам определяли: pH_{KCl} , $N_{общ.}$, содержание гумуса, обменных кальция и магния. Содержание обменного фосфора и подвижного калия в почве сада БГСХА определяли по методу Кирсанова, в образцах почвы ГНУ ВНИИСПК – по методу Чирикова.

В садовые агроценозы с пестицидами поступают преимущественно *Cu* и *Zn*. Оба изучаемых сада находятся в непосредственной близости от оживлённых автомагистралей, что позволяет ожидать повышенного поступления *Pb*.

Подвижные формы *Cu*, *Zn* и *Pb* из почв извлекали параллельно двумя различными экстрагентами: ацетатно-аммонийным буферным раствором (ААБ) с pH 4,8 и 1М раствором HNO_3 . В обоих случаях соотношение почва:раствор было 1:10. После суточного настаивания в фильтрате определяли концентрацию тяжёлых металлов атомно-абсорбционным методом.

Современные российские нормативы содержания подвижных ТМ в почве [9] основаны на экстракции ААБ $pH=4,8$, поскольку количество ТМ в этой вытяжке хорошо коррелирует с содержанием ТМ в большинстве видов

растений. Считается, что ацетатно-аммонийный буфер извлекает главным образом водорастворимые и обменные формы микроэлементов [7].

Существует мнение, что наиболее важной с экологических позиций является группа кислоторастворимых форм ТМ (извлекаемых 1М HCl либо 1М HNO_3), которая характеризует весь запас потенциально-доступных соединений [3, 4]. Азотная кислота извлекает из почвы ионы металлов, которые входили в почвенный поглощающий комплекс в виде обменных катионов, были сорбированы минеральными почвенными компонентами, входили в состав комплексных соединений с органическим веществом почвы. Кроме того, 1М HNO_3 способствует растворению карбонатов и других малорастворимых соединений ТМ [14]. М.Е.Подгорной [11] в садах Краснодарского края выявлена существенная положительная корреляция между содержанием Si в плодах яблони и количеством кислоторастворимых форм Si .

Разница между содержанием кислоторастворимых форм ТМ и количеством ТМ, извлекаемых ААБ $pH=4,8$, характеризует содержание специфически сорбированных соединений [7, 12]. Таким образом, параллельная экстракция с помощью двух вытяжек позволяет более полно охарактеризовать состояние ТМ в изучаемых почвах.

Результаты и обсуждение

Изучаемые почвы различаются по ряду агрохимических показателей (таблица 1). По степени гумусированности почву сада ГНУ ВНИИСПК следует отнести к среднегумусированным [6], распределение органического вещества в почвенном профиле соответствует типовым признакам серых лесных почв. Содержание гумуса в более лёгких светло-серых лесных почвах сада БГСХА существенно зависит от микрорельефа: на плато почва имеет среднее содержание гумуса (около 2%) и незначительную мощность гумусового горизонта; в западине наблюдается вымывание гумусовых веществ и аккумуляция в горизонте B_1 (68...109 см) и частично в B_2 (109...123 см).

Существенны различия также в показателях кислотности. По величине pH_{KCl} верхних горизонтов почву сада БГСХА следует отнести к группе слабокислых. Однако на плато, начиная с глубины 100 см, кислотность постепенно снижается, так как сказывается влияние почвообразующей породы – карбонатного лессовидного суглинка. В сильнонамытой почве микрозападины показатели кислотности мало изменяются с глубиной: $pH_{KCl}=4,64\pm 0,12$, $H_{общ}=4,26\pm 0,84$ мг-экв/100 г почвы. В саду ГНУ ВНИИСПК, благодаря близкому залеганию подстилающей породы – доломитового известняка, весь почвенный профиль обогащён карбонатами Ca и Mg , карбонатный псевдомицелий наблюдается с глубины 100 см. По величине pH_{KCl} верхнего 100-сантиметрового слоя почву данного сада следует считать нейтральной [6].

Таблица 1 – Агрохимическая характеристика почв

Глубина, см	рН _{KCl}	Гумус, %	N _{общ} , мг-экв/100 г	Содержание			
				P_2O_5	K_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}
				мг/кг		мг-экв/100 г	
Сад Брянской ГСХА, плато.							
0...20	4,95	2,02	4,05	274	112	7,00	1,50
20...40	4,69	0,41	3,79	262	38	7,12	1,37
40...60	4,85	0,85	2,86	245	30	9,75	1,75
60...80	4,79	0,52	2,16	201	25	10	1,25
80...100	5,27	0,42	1,74	226	26	8,37	4,37
100...120	4,81	0,33	1,78	282	23	6,87	2,62
120...140	5,07	0,22	1,20	187	16	6,37	2,87
140...160	6,54	0,42	0,59	136	20	7,50	2,87
160...180	7,26	0,42	0,38	118	13	7,75	2,37
180...200	7,07	0,31	0,41	33	12	8,75	1,25
Сад Брянской ГСХА, западина.							
0...20	4,76	2,42	4,92	283	282	7,12	1,12
20...40	4,43	1,62	5,37	278	105	4,87	2,25
40...60	4,49	1,62	5,14	222	105	5,38	1,25
60...80	4,60	2,47	5,48	171	78	6,88	1,37
80...100	4,73	2,77	6,27	207	78	7,75	1,37
100...120	4,60	0,52	2,41	516	50	2,37	1,12
120...140	4,59	1,00	3,79	594	100	3,37	2,50
140...160	4,63	0,32	2,52	714	38	3,63	0,13
160...180	5,13	0,42	3,56	494	45	4,00	1,62
180...200	4,46	0,32	3,13	402	37	5,50	2,62
Сад ГНУ ВНИИСПК.							
0...20	5,39	4,61	3,94	204	194	14,98	4,39
20...40	5,16	3,81	4,22	156	106	15,59	4,58
40...60	6,36	2,78	2,86	100	100	14,76	4,77
60...80	6,35	1,59	1,56	61	96	14,57	4,02
80...100	5,75	1,16	1,16	52	93	13,96	4,17
100...120	7,73	0,85	0,33	42	77	14,14	3,72
120...140	7,63	0,62	0,33	49	87	14,33	3,53
140...160	7,67	0,52	0,41	36	84	15,07	3,91
160...180	7,61	0,62	0,24	42	87	15,81	3,72
180...200	7,63	0,77	0,33	35	84	15,81	3,91

Содержание подвижного фосфора в изучаемых почвах высокое (сад ГНУ ВНИИСПК) и очень высокое (сад БГСХА) [5, 6]. В последнем случае можно говорить даже о зафосфаченности, особенно в отношении микрозападины, где содержание подвижного фосфора в глубоких слоях достигает 500...700 мг/кг.

Уровень содержания обменного калия в верхнем 100-сантиметровом слое почвы сада ГНУ ВНИИСПК варьирует от повышенного до высокого (93...194 мг/кг) [5, 6]. В саду Брянской ГСХА в западине содержание обменного калия в верхнем 0...60 см слое изменяется от 105 до 282 мг/кг (повышенный, либо средний уровень обеспеченности). На плато средний уровень обменного калия выявлен только в поверхностном горизонте (таблица 1).

Количество и соотношение подвижных соединений ТМ в профиле серых лесных почв под садами зависели как от свойств почвы, так и от интенсивности антропогенной нагрузки.

Анализ содержания подвижных *Cu*, *Zn* и *Pb* в почве исследуемых садовых агроценозов показал, что основное количество элементов приходится на долю кислоторастворимых форм (таблица 2). В интенсивном саду ГНУ ВНИИСПК содержание кислоторастворимых соединений *Pb*, *Zn* и *Cu* в слое 0...60 см было в 3...6 раз выше, чем в «экологическом» саду Брянской ГСХА, имеющем низкую пестицидную нагрузку.

Таблица 2 – Содержание подвижных форм ТМ в профиле садовых почв, мг/кг

Глубина, см	Сад Брянской ГСХА, плато			Сад Брянской ГСХА, западина			Сад ГНУ ВНИИСПК		
	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>
ААБ pH 4,8									
0...20	0,63	1,30	0,15	1,06	2,10	0,41	следы	3,33	0,78
20...40	0,42	0,10	0,10	1,17	0,50	0,24	следы	1,88	0,66
40...60	0,87	0,10	0,04	0,72	0,60	0,14	следы	0,46	0,13
60...80	0,95	0,60	0,13	0,53	0,70	0,09	0,07	4,47	0,29
80...100	0,85	0,80	0,13	0,45	0,50	0,06	0,71	1,50	0,44
100...120	0,87	0,70	0,19	0,39	1,10	0,10	следы	0,28	1,24
120...140	0,53	0,60	0,18	0,43	1,00	0,10	следы	следы	1,60
140...160	0,68	0,40	0,21	0,38	0,10	0,07	0,28	следы	1,20
160...180	0,54	0,30	0,24	0,95	0,10	0,20	следы	следы	1,35
180...200	0,48	0,30	0,31	0,88	0,30	0,24	следы	1,56	1,04
1 н HNO_3									
0...20	1,06	2,30	2,20	1,24	3,90	2,24	3,09	6,50	12,83
20...40	0,91	0,90	1,37	1,95	1,4	1,91	2,80	6,73	9,47
40...60	1,93	0,70	1,24	1,12	1,74	1,82	2,56	4,47	2,23
60...80	1,39	1,10	1,02	1,05	3,70	1,94	2,61	5,5	2,60
80...100	0,90	2,40	0,81	1,01	1,81	2,15	2,57	4,37	2,10
100...120	1,53	0,90	0,72	0,87	2,05	0,47	1,66	3,00	1,40
120...140	0,78	1,00	0,60	1,02	1,20	1,01	0,93	3,10	1,62
140...160	0,90	0,90	0,77	0,72	1,20	0,46	2,74	3,20	1,80
160...180	0,90	2,20	0,82	1,33	0,40	0,47	2,61	4,40	2,30
180...200	0,94	4,6	0,90	1,43	0,40	0,60	2,76	3,30	1,80

Для светло-серых лесных легкосуглинистых почв Брянской области значимым фактором, влияющим на накопление подвижных соединений ТМ в почве сада, является микрорельеф. В микрозападине в верхнем 60-см слое сильнонамытой почвы содержалось в 1,5...2 раза больше подвижных соединений *Pb* и *Zn*, по сравнению с почвой плато.

Основным загрязнителем в интенсивном саду является *Cu*. Об этом свидетельствует профильное распределение кислоторастворимых соединений *Cu* по регрессивно-аккумулятивному типу (таблица 2). В саду с пониженной антропогенной нагрузкой накопление кислоторастворимых форм *Cu* верхних слоев почвы выражено значительно слабее.

В процессах накопления кислоторастворимых соединений *Cu* в профиле серых лесных почв садовых агроценозов важную роль играет органическое вещество почв. Во всех изученных почвенных разностях, независимо от уровня пестицидной нагрузки, отмечены достоверные высокие коэффициенты корреляции между кислоторастворимыми формами *Cu* и содержанием гумуса ($r = 0,91...0,97$). О значимом влиянии органического вещества на процессы миграции и трансформации *Cu* свидетельствует высокое содержание специфически сорбированных соединений *Cu* в верхних 40 см почвенного профиля всех изученных почвенных разностей (рисунок 1).

Запасы водорастворимых и обменных соединений ТМ в садовых почвах зависели от условий почвообразования. Почва интенсивного сада содержала в 2...3 раза больше кислоторастворимого *Pb*, чем почва «экологического сада». При этом в почве сада БГСХА 50...70% приходилось на долю водорастворимых и обменных соединений. В профиле почвы интенсивного сада обнаружены лишь следовые количества водорастворимых и обменных форм *Pb* (таблица 2). Причины этого – более высокое содержание гумуса и высокая карбонатность данной почвенной разности (Таблица 1). В верхней части почвенного профиля (0...60 см) катионы *Pb* вероятно присутствуют преимущественно в виде соединений с органическим веществом, а в нижней части (слой 140...200 см) катионы *Pb* могут быть прочно сорбированы карбонатами по механизму специфической сорбции (рисунок 1), в результате их доступность растениям снижается. Важная роль карбонатов в трансформации соединений ТМ была показана Т.М.Минкиной [7] для чернозёмов обыкновенных Нижнего Дона.

Известно, что по прочности связи поглощённых катионов с ППК, справедлива последовательность $Cu > Pb \gg Zn$ [7]. Для дерново-подзолистых почв [10] и чернозёмов [7] показана слабая связь *Zn* с органическим веществом почв и эффективная сорбция карбонатами. В чернозёмах обыкновенных содержание специфически сорбированных на карбонатах соединений *Zn* составляло, в зависимости от уровня загрязнения, 50...88% от общего количества непрочносвязанных форм элемента.

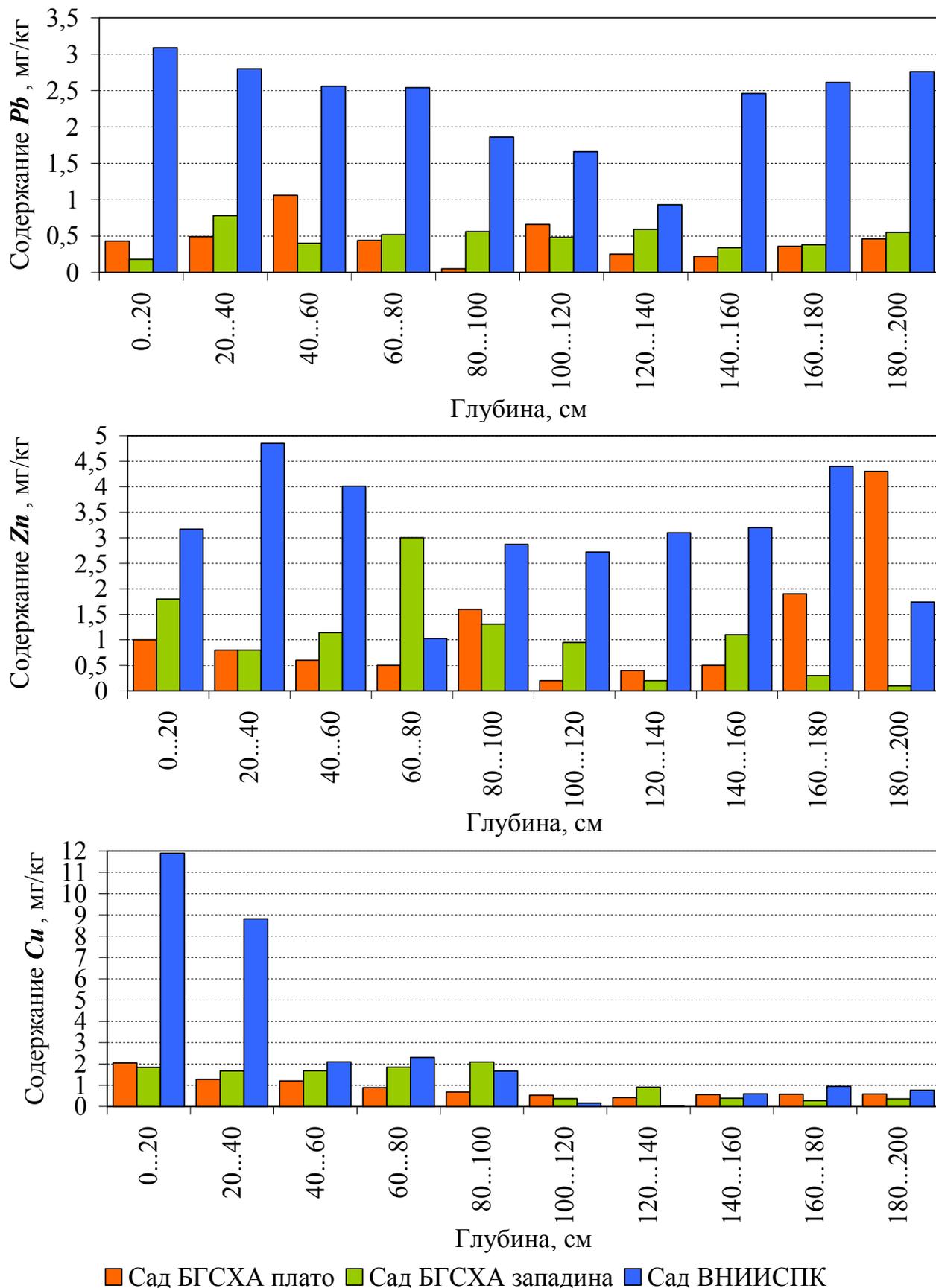


Рисунок 1 – Содержание специфически сорбированных и связанных с карбонатами форм *Pb*, *Zn* и *Cu* в профиле садовых почв, мг/кг

Содержание специфически сорбированных форм *Zn* в верхних горизонтах садовых почв меньше, чем в более глубоких слоях, что подтверждает низкую активность органического вещества в прочном удерживании элемента (рисунок 1). В серых лесных почвах под садовыми агроценозами мы также наблюдали отсутствие экстрагируемых ААБ рН=4,8 форм *Zn* в карбонатных горизонтах (таблица 2). Это позволяет предположить, что катионы *Zn*, извлекаемые 1М *HNO*₃, не являются обменными, а специфически сорбированы на карбонатах либо входят в состав труднорастворимых соединений.

Выводы

Распределение подвижных соединений ТМ в профиле серых лесных почв садовых агроценозов зависит от условий почвообразования и уровня пестицидной нагрузки.

Запасы кислоторастворимых соединений *Cu*, *Zn* и *Pb* в почве сада с интенсивной агрогенной нагрузкой в 3...6 раз превышают уровень содержания этих форм ТМ в «экологическом» саду.

Значимым фактором, влияющим на накопление подвижных соединений ТМ в почве сада, является микрорельеф. В микрозападине содержание подвижных форм *Pb* и *Zn* в 1,5...2 раза больше, чем на плато.

Важная роль в процессах трансформации тяжёлых металлов в серых лесных почвах под садами принадлежит органическому веществу и карбонатам. В карбонатных горизонтах, в результате образования малорастворимых соединений и специфической сорбции, наблюдается более низкий уровень содержания наиболее доступных растениям обменных и водорастворимых форм *Pb* и *Zn*.

Литература

1. Громова В.С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на агроэкологические характеристики почвы и плодов яблоневого сада. // Плодоводство и ягодоводство России: Сб. – М. : ВСТИСП, 1995. – С. 153-157.
2. Иванова А.С. Микроэлементы в плантажированных почвах под садами Крыма. // Агрохимия. – 2002. – № 10. – С.11-20.
3. Карпова Е.А. Подвижные соединения тяжёлых металлов в пахотных горизонтах дерново-подзолистых почв в условиях длительного применения удобрений. // Экологическая агрохимия. Сб.- М.: 2008. – С.12-29.
4. Кинжаев Р.Р. Влияние длительного применения удобрений на состояние биогенных и токсичных элементов в агроценозе на дерново-подзолистой почве. Автореферат... к.б.н. - Москва, 2004. – 20 с.
5. Кондаков А.К. Удобрение плодовых деревьев, ягодников, питомников и цветочных культур. – Мичуринск : 2007. – 327 с.

6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 240 с.
7. Минкина Т.М. Соединения тяжёлых металлов в почвах Нижнего Дона и их трансформация под влиянием природных и антропогенных факторов. Автореферат ... доктора биол. наук – Ростов-на-Дону, 2008. – 54с.
8. Палий М.В., Богданова О.А. Защита плодоносящих насаждений яблони и груши от вредителей и болезней (рекомендации). Орёл, 2010. – 72с.
9. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых количеств (ОДК) химических веществ в почве. Издание специальное / М.: Изд. Госкомсанэпиднадзора России, 1991. – 18 с.
10. Плеханова И.О. Трансформация соединений тяжёлых металлов в почвах при увлажнении. Автореферат ... доктора биол. наук – М.: 2008. – 51 с.
11. Подгорная М.Е. Содержание препаратов группы меди в почве, воде и плодах яблони. // Оптимизация фитосанитарного состояния садов в условиях погодных стрессов: Сб. – Краснодар, 2005. – С. 367-378.
12. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г.Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.
13. Роева Т.А. Использование мелиорантов для снижения поступления тяжёлых металлов в ягоды чёрной смородины. Автореферат... к. с.х. наук – Орёл, 2008. – 23 с.
14. Теория и практика химического анализа почв./ Под редакцией Л.А.Воробьёвой, – М.: ГЕОС, 2006. – 400с.
15. Ярошенко О.В. Содержание микроэлементов в почве и растениях яблони на фоне пестицидных нагрузок. // Научные основы минерального питания и применения удобрений в насаждениях плодовых культур. (Материалы международной научно-практической конференции, Мичуринск, 20...22 октября 2010 года) – ГНУ ВНИИС им. И.В.Мичурина, 2011. – С.160-164.