

МАРГАНЕЦ И ЦИНК В ПОЧВАХ КАМЕННОЙ СТЕПИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ ГИДРОМОРФИЗМА*

Д. И. Щеглов, Н. С. Горбунова, Л. А. Семенова, О. А. Хатунцева

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 11.03.2012 г.

Аннотация. Исследовано содержание и профильное распределение валовых и подвижных форм соединений микроэлементов (Mn и Zn) в почвах сопряженного ряда при различной степени гидроморфизма. Сделана попытка выявить типы и подтипы внутрипрофильного распределения данных микроэлементов. Установлена корреляционная зависимость между свойствами почв и содержанием элементов в профиле. Степень подвижности, приводимая в работе, позволяет характеризовать микроэлементы с точки зрения доступности растениям.

Ключевые слова: микроэлементы, марганец, цинк, валовое содержание, кислоторастворимые соединения, обменные соединения, Каменная степь.

Abstract. The contents and profile distribution of total and mobile forms of connections of microcells (Mn and Zn) in soils the connected lines is investigated at a various degree hydromorphic. Attempt to reveal types and subtypes of intraprofile distribution of the given microcells is made. Correlation dependence between properties of soils and the contents of elements in a structure is established. The degree of mobility resulted in work, allows to characterize microcells from the point of view of availability to plants.

Keywords: microcells, manganese, zinc, the total contents, an acid soluble connections, exchange connections, Kamennay steppe.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрологический режим во многом определяет кислотность почв, характер окислительно-восстановительных процессов и как следствие оказывает определяющее влияние на подвижность микроэлементов (МЭ), вызывая их осаждение или образование комплексных соединений различной прочности с органическим веществом, глинистыми минералами и другими почвенными компонентами. Поэтому вопрос влияния гидроморфизма на характер накопления и внутрипрофильное распределение МЭ является актуальным. Кроме того, степень увлажнения влияя на подвижность микроэлементов, определяет и доступность их растениям.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектами исследования послужили почвы Каменной степи (Таловский район Воронежской области). Влияние степени гидроморфизма на содержание и профильное распределение валового содержания и различных форм соединений МЭ проводилось в генетически сопряженном ряду — катене длиной около 2000 м, расположенной от

водораздела до подножия склона восточной экспозиции. Сопряженный ряд почв был представлен на водоразделе агрочерноземами сегрегационными, в средней части склона — агрочерноземами гидрометаморфизованными и в нижней — агрогумусово-гидрометаморфическими типичными почвами. Почвообразующими породами во всех случаях были покровные карбонатные тяжелые суглинки и глины. Почвенные разрезы закладывали до глубины 150—200 см, расстояния между разрезами составляли от 300 до 700 м. Превышение высот между ними составляет 1—2 м. Исследуемые почвы находились под черным паром.

Образцы почв отбирались через каждые 10 см (0—10, 20—30, 40—50... 140—150 см), в них определялись гранулометрический состав, рН водной вытяжки, гидролитическая кислотность, обменные Ca^{2+} и Mg^{2+} , содержание гумуса по общепринятым методикам [1]. Валовое содержание МЭ — Mn и Zn определяли методом спекания почвы с карбонатом натрия и последующим атомно-абсорбционным определением [2]. Кислоторастворимые соединения МЭ определяли в вытяжке 1 н. HNO_3 в соотношении почва — раствор 1:5; обменные соединения — в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) рН 4,8, соотношение почва — раствор 1:10. Все определения проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре КВАНТ2А, чувствительность опреде-

© Щеглов Д. И., Горбунова Н. С., Семенова Л. А., Хатунцева О. А., 2012

* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 10-04-00014а

ления 0,01 мкг/л, точность 4 % [3]. Вариационно-статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программ Stadia и Microsoft Excel.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследуемые почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом. Преобладающими фракциями являются илистая и крупнопылеватая,

составляющими в сумме около 65 %. Среди рассматриваемых почв наиболее тяжелый гранулометрический состав имеют гидроморфные агропочвы, с максимальным содержанием илистой фракции в верхнем горизонте около 30 % и минимальным содержанием фракции пыли — 29 %. Далее по убыванию физической глины и ила следуют агрочерноземы гидрометаморфизованные и агрочерноземы сегрегационные (табл. 1).

Таблица 1

Общие свойства исследуемых почв

Глубина, см	рН водный	Обменные катионы, ммоль-экв/100 г почвы			Фракция ила <0,001мм	Гумус по Тюрину
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺		
Агрочерноземы сегрегационные						
0—10	7,2	46,8	5,8	1,0	25,6	6,6
20—30	7,3	39,2	5,2	0,8	28,1	5,8
40—50	7,5	32,1	4,9	не обн.	32,9	3,9
60—70	7,8	25,2	4,5	не обн.	36,3	2,1
80—90	8,4	20,9	4,3	не обн.	37,6	1,0
100—110	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	37,5	0,8
120—130	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	38,3	0,6
140—150	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	38,7	0,5
Агрочерноземы гидрометаморфизованные						
0—10	7,4	43,3	8,0	не обн.	28,1	6,6
20—30	7,5	41,0	6,6	не обн.	30,1	6,2
40—50	7,8	33,5	4,7	не обн.	32,9	4,2
60—70	8,2	26,7	4,0	не обн.	35,6	2,1
80—90	8,4	22,1	3,9	не обн.	37,7	0,9
100—110	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	36,7	0,8
120—130	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	38,5	0,7
140—150	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	38,8	0,6
Агрогумусово-гидрометаморфические типичные почвы						
0—10	7,5	42,8	9,8	не обн.	29,6	6,2
20—30	7,5	37,5	9,1	не обн.	30,3	5,7
40—50	7,8	32,0	7,5	не обн.	33,2	4,2
60—70	7,9	27,4	5,8	не обн.	33,7	2,7
80—90	8,6	23,3	5,3	не обн.	33,6	1,3
100—110	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	36,6	0,8
120—130	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	36,0	0,6
140—150	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	36,6	0,5

Неодинаков и характер распределения гранулометрических фракций в профиле почв. Наиболее заметное увеличение количества илистых частиц с глубиной отмечается в агрочерноземах сегрегационных (13 %), меньший процент нарастания ила с глубиной (11 %) отмечается в гидрометаморфизованных агрочерноземах, и самым низким этот показатель является в профиле агрогумусово-гидрометаморфических типичных почв — 7 %.

Существенная дифференциация профиля исследуемых почв по гранулометрическому составу может быть обусловлена различными причинами: глинисто-иллювиальным процессом, сиаллитизацией или оглиниванием нижней части профиля и, в немалой степени, по-видимому, особенностями гидрологического режима рассматриваемых почв [4].

По содержанию валового гумуса в верхнем 0—10 см слое агрочернозема сегрегационные характеризуются как среднегумусные (6,6 %) и среднемощные (мощность гумусового профиля составляет 70 см). Снижение общего гумуса по профилю агрочерноземов происходит постепенно. Для агрочерноземов гидрометаморфизованных и агрогумусово-гидрометаморфических типичных почв характерно примерно такое же содержание гумуса (6,2—6,6 %) в верхней 0—10 см толще, однако вниз по профилю его количество уменьшается более заметно, чем в агрочерноземах сегрегационных.

Содержание обменного Ca^{2+} в автоморфных и полугидроморфных агропочвах варьирует от 42,0 до 47,0, обменного Mg^{2+} от 6,0 до 8,0 ммоль-экв/100 г почвы. Гидролитическая кислотность отмечается только в верхней 30 см толще и составляет около 1,0 ммоль-экв/100 г почвы. Реакция среды меняется по профилю от близкой к нейтральной ($\text{pH} = 7,2$) до щелочной ($\text{pH} = 8,4$).

В гидроморфных агропочвах заметно увеличивается количество обменного магния (до 9,8 ммоль-экв/100 г почвы) при сохранении того же количества обменного кальция (43,0 ммоль-экв/100 г почвы). Гидролитическая кислотность отсутствует, а величина pH является наиболее щелочной в исследуемом ряду почв и изменяется по профилю от $\text{pH} 7,5$ в верхнем горизонте до $\text{pH} 8,6$ в нижнем.

Полученные данные свидетельствуют о том, что исследуемые почвы сопряженного ряда характеризуются не только различным гидрологическим режимом, но и существенными различиями в их составе и свойствах, что не могло не сказаться на

содержании тяжелых металлов и их профильном распределении.

Марганец. Кларк Mn в литосфере составляет 1000 мг/кг, в почвах — 850 мг/кг [5]. Уровень содержания Mn в изучаемых почвах меньше его кларка в литосфере, то есть наблюдается рассеяние элемента относительно литосферы. Результаты исследований показали, что максимальное валовое содержание Mn отмечается в верхнем 0—10 см слое агрогумусово-гидрометаморфических типичных почв и составляет 846 мг/кг (табл. 2). Распределение валового содержания Mn по профилю анализируемых почв характеризуется накоплением его в верхних горизонтах, что обусловлено как биогенной аккумуляцией, так и способностью его образовывать труднорастворимые соединения в окислительной обстановке верхней толщи почв. Кроме того, в условиях щелочной среды миграция Mn значительно слабее [6]. Эти особенности подтверждаются и нашими данными, показывающими, что валовое содержание Mn постепенно уменьшается вниз по профилю всех изучаемых почв.

Однако на фоне этой общей закономерности распределение валового содержания Mn в профиле исследуемых почв неодинаково. В автоморфных агрочерноземах Mn распределяется по прогрессивно-аккумулятивному типу, что по-видимому характерно для автономных плакорных ландшафтов. В агрочерноземах гидрометаморфизованных в верхней части профиля распределение Mn идет по четко выраженному равномерно-аккумулятивному типу, а в нижней части, с глубины 80 см проявляются признаки регрессивно-аккумулятивного распределения, что, несомненно связано с изменением подвижности этого элемента в нижней толще полугидроморфных почв. В гидроморфных агропочвах распределение Mn по всему профилю происходит по регрессивно-аккумулятивному типу. Все это свидетельствует о тесной связи профильного распределения валового содержания Mn с гидрологическим режимом почв.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о тесной связи профильного распределения валового содержания Mn с содержанием гумуса (r достигает 0,99, табл. 3). Наряду с этим на распределение Mn в профиле почв влияют pH и содержание ила. Наиболее тесная отрицательная связь между Mn, pH и илом отмечается в гидроморфных агропочвах ($r = -0,97$ и $-0,94$ соответственно, табл. 3).

Содержание кислоторастворимых соединений Mn также неодинаково в исследуемом ряду. Наи-

Внутрипрофильное распределение валового содержания и подвижных форм соединений Mn и Zn в изучаемых почвах

Глубина, см	Валовое содержание		Кислоторастворимые соединения		Обменные соединения	
	Mn	Zn	Mn	Zn	Mn	Zn
Черноземы сегрегационные						
0—10	522	109	402	15,6	20,9	3,01
20—30	519	102	392	15,4	23,9	3,10
40—50	515	92,9	355	14,0	26,9	3,31
60—70	504	86,1	308	14,6	28,5	3,62
80—90	501	72,4	266	15,5	28,5	3,78
100—110	491	61,6	283	16,0	30,5	4,31
120—130	473	68,8	305	17,9	32,2	4,91
140—150	453	98,1	319	18,6	33,2	5,90
Агрочерноземы гидрометаморфизованные						
0—10	522	124	411	18,4	28,3	3,12
20—30	514	107	395	17,8	27,4	3,29
40—50	500	99,4	366	15,7	27,9	3,77
60—70	488	91,3	338	16,9	28,3	3,91
80—90	475	78,8	300	17,5	29,3	4,11
100—110	465	75,3	290	18,1	30,4	4,95
120—130	460	80,1	328	18,6	33,2	5,38
140—150	453	82,7	318	19,4	37,4	6,59
Агрогумусово-гидрометаморфические типичные почвы						
0—10	846	140	470	19,4	29,2	3,33
20—30	788	118	462	18,0	30,8	3,68
40—50	688	100	431	17,4	30,9	3,77
60—70	591	94,1	395	15,9	34,4	3,99
80—90	529	77,9	360	17,4	34,8	4,17
100—110	499	72,2	340	17,8	36,6	4,32
120—130	470	77,7	332	18,3	38,8	6,94
140—150	454	81,4	319	19,9	40,8	7,55

меньшее их количество (в среднем 402 мг/кг) отмечается в агрочерноземах сегрегационных, больше этих форм в полугидроморфных и максимальное количество в гидроморфных агропочвах. Такая особенность в какой-то мере обусловлена аналогичным различием валового содержания Mn в этих почвах. При этом содержание кислоторастворимых соединений этого элемента в почвообразующей породе во всех почвах находится на одном уровне.

Распределение этих соединений в автоморфных агрочерноземах характеризуется дифференцированным профилем с наличием двух максимумов:

верхнего — абсолютного и нижнего — в почвообразующей породе с резко выраженным минимальным содержанием, приуроченным к нижней границе гумусовой толщи (80 см). В полугидроморфных агропочвах характер профильного распределения кислоторастворимых соединений Mn близок к автоморфным агрочерноземам и отличается лишь более глубоким залеганием в профиле минимума содержания (100 см) и менее выраженным вторым максимумом в нижележащей толще, что, по-видимому, обусловлено наличием сезонного переувлажнения и нестабильностью Mn в этой части

Коэффициенты корреляции между содержанием различных форм соединений МЭ и илом, гумусом, рН_{водн.} в профиле изучаемых агропочв

Почвы	Mn	Zn	Mn	Zn	Mn	Zn
	Валовое содержание		Кислоторастворимые соединения		Обменные соединения	
МЭ — ил						
Автоморфные	-0,77	-0,71	-0,87	0,55	0,73	0,80
Полугидроморфные	-0,94	0,92	-0,72	0,56	0,88	0,80
Гидроморфные	-0,94	-0,81	-0,77	-0,10	0,88	0,70
МЭ — гумус						
Автоморфные	0,78	0,76	0,88	-0,59	-0,75	-0,83
Полугидроморфные	0,89	0,96	0,89	-0,51	-0,80	-0,73
Гидроморфные	0,99	0,89	0,78	0,10	-0,91	-0,69
МЭ — рН						
Автоморфные	-0,83	-0,74	-0,84	0,60	0,80	0,88
Полугидроморфные	-0,94	-0,97	-0,73	0,60	0,85	0,80
Гидроморфные	-0,97	-0,93	-0,83	-0,15	0,84	0,70

профиля. В гидроморфных агропочвах распределение данных форм соединений Mn в определенной мере повторяет ход профильной кривой распределения валового содержания Mn и гумуса, о чем свидетельствуют результаты корреляционного анализа (табл. 3).

Содержание обменных соединений Mn увеличивается в ряду от автоморфных к гидроморфным почвам, однако в профильном его распределении наблюдается иное явление. Если валовое содержание и кислоторастворимые соединения Mn в профиле почв распределялись по аккумулятивному типу, то обменные — имеют элювиальный тип распределения. При этом в автоморфных агропочвах обменные соединения Mn распределяется по прогрессивно-элювиальному подтипу, в полугидроморфных — по хорошо выраженному регрессивно-элювиальному, а в гидроморфных почвах — по равномерно-элювиальному подтипу. Все это может свидетельствовать о различной возможности миграции обменных соединений Mn в профиле исследуемых почв.

Цинк. Кларк Zn в литосфере равен 83 мг/кг, кларк почвы — 50 мг/кг [5]. Уровень содержания Zn в изучаемых почвах выше кларка почвы и литосферы. Полученные данные по валовому содержанию Zn в изучаемых почвах свидетельствуют об

отсутствии загрязнения почв, поскольку количество его не превышает значения ПДК = 150 мг/кг [7, 8].

Результаты исследований показывают, что все почвы катены характеризуются хорошо выраженной биологической аккумуляцией валового содержания Zn [9]. При этом аккумулятивная толща почвенного профиля всех рассматриваемых почв примерно одинакова и составляет 90—100 см. В сопряженном ряду почв наблюдается однонаправленное увеличение валового содержания Zn от автоморфных к гидроморфным почвам (табл. 2). Так, в агрочерноземах сегрегационных количество его составляет 109, в гидрометаморфизованных — 124, а в агрогумусово-гидрометаморфических типичных почвах — 140 мг/кг.

Увеличение валового содержания Zn в почвах с нарастающим гидроморфизмом может быть связано с утяжелением гранулометрического состава, а также со спецификой окислительно-восстановительных условий в этом ряду.

Обращает на себя внимание особенности профильного распределения валового содержания Zn в исследуемых почвах. Как отмечалось, максимальное количество металла приурочено к самым верхним горизонтам. Вниз по профилю содержание его постепенно и однозначно снижается, вслед за сни-

жением гумуса, а в подгумусовой части вновь наблюдается увеличение валового содержания Zn. При этом более заметное возрастание его отмечается в подпочвенной толще автоморфных почв, что возможно связано с особенностями их гидрологического и карбонатно-кальциевого режима.

Особое влияние на миграцию Zn в почвах оказывает содержание оксидов Fe, глинистых минералов и величина рН [6]. Данные корреляционного анализа свидетельствуют о тесной связи между распределением валового содержания Zn, ила, гумуса и рН (табл. 3).

В сопряженном ряду почв количество кислоторастворимых соединений Zn также увеличивается от автоморфных к гидроморфным почвам (табл. 2). В профильном распределении этих форм соединений Zn наблюдается единая для всех почв закономерность: формирование двух центров аккумуляции — верхнего — биогенного и нижнего в почвообразующей породе, обусловленного, по видимому, обогащением этой части профиля илстыми частицами. Переход верхней элювиальной части профильного распределения Zn в нижнюю иллювиальную отмечается в черноземах на глубине 40 см, а в агрогумусово-гидрометаморфических типичных почвах — на глубине 60 см и, как правило, приурочен к верхней границе карбонатного горизонта.

Содержание обменных соединений Zn в верхней части профиля агропочв катены близко между собой. Однако в нижележащих горизонтах различия в содержании и распределении обменных соединений Zn становятся существенными. Прежде всего, в профиле всех исследуемых почв обменные соединения Zn распределяются по элювиальному типу. При этом в автоморфных черноземах распределение металла происходит по четко выраженному регрессивно-элювиальному подтипу, в полугидроморфных почвах наблюдается аналогичное распределение Zn, но на глубине 80—100 см — более резкое его изменение, а в гидроморфных агропочвах — почти пороговое увеличение содержания обменных соединений Zn. Последнее, несомненно, связано с нарастанием гидроморфизма и изменением окислительно-восстановительных условий в этой части профиля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сопряженном ряду почв (агрочерноземы сегрегационные — агрочерноземы гидрометаморфизованные — агрогумусово-гидрометаморфические типичные почвы) наблюдается однонаправленное увеличение валового содержания и кислотораство-

римых соединений Mn и Zn, что связано с соответствующим изменением гидрологического режима, гранулометрического состава и специфики окислительно-восстановительных условий. Обменные формы соединений МЭ концентрируются преимущественно в нижней части почвенного профиля, что возможно обусловлено особенностями их миграции и карбонатно-кальциевым режимом изучаемых почв.

Валовое содержание и кислоторастворимые формы соединений Mn и Zn в профиле изучаемых агропочв распределяются по аккумулятивному типу, а обменные — имеют элювиальный тип распределения. При этом в зависимости от степени гидроморфизма профильное распределение валового содержания и кислоторастворимых соединений характеризуется различными подтипами: равномерно-аккумулятивным, регрессивно-аккумулятивным, прогрессивно-аккумулятивным. Обменные соединения МЭ, в зависимости от степени гидроморфизма распределяются в профиле по следующим подтипам: прогрессивно-элювиальному, регрессивно-элювиальному и равномерно-элювиальному.

В изучаемых почвах содержание и внутрипрофильное распределение валового содержания Mn и Zn связано, прежде всего, с количеством и распределением органического вещества. Содержание кислоторастворимых соединений Mn во многом определяется распределением гумуса. В карбонатном горизонте отмечается концентрация кислоторастворимых соединений Zn, а также обменных соединений как Mn, так и Zn.

Валовое содержание МЭ во всех исследованных почвах не превышает ПДК, установленных для черноземных почв. Относительно литосферы в почвах наблюдается рассеяние Mn. Количество Zn в изучаемых почвах выше кларка почв и кларка литосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьева Л. А. Химический анализ почв / А. Л. Воробьева. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. — 272 с.
2. Кузнецов А. В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А. В. Кузнецов [и др.] — М.: ЦИНАО, 1992. — 61 с.
3. Спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ2А. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ГКНЖ.0900.000Т0. — М., 1995. — 57 с.
4. Молчанов Э. Н. Горные лугово-степные почвы высокогорий восточного Кавказа / Э. Н. Молчанов // Почвоведение. — 2009. — № 6. — С. 638—647.

5. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 238 с.

6. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. — М.: Астрея-2000, 1999. — 768 с.

7. *Мотузова Г. В.* Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение,

мониторинг / Г. В. Мотузова. — М.: Эдиториал УРСС, 1999. — 168 с.

8. *Обухов А. И.* Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах / А. И. Обухов // Тяжелые металлы в окружающей среде. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. — С. 20—28.

9. *Касимов Н. С.* Геохимия степных и пустынных ландшафтов / Н. С. Касимов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. — 253 с.

Щеглов Дмитрий Иванович — зав. кафедрой почвоведения и управления земельными ресурсами Воронежского государственного университета, профессор, д.б.н.; e-mail: dpoch@mail.ru

Горбунова Надежда Сергеевна — старший преподаватель кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами Воронежского государственного университета, к.б.н.; e-mail: vilian@list.ru

Семенова Людмила Анатольевна — ассистент кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами Воронежского государственного университета, к.б.н.; e-mail: semionova.lyud@yandex.ru

Хатунцева Ольга Александровна — аспирант кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами Воронежского государственного университета; e-mail: ХОА.1986@yandex.ru

Shcheglov Dmitriy I. — managing faculty of soil science and management of ground resources of the Voronezh state university, the professor, PhD; e-mail: dpoch@mail.ru

Gorbunova Nadejda S. — the senior teacher of faculty of soil science and management of ground resources of the Voronezh state university, PhD; e-mail: vilian@list.ru

Semenova Lyudmila A. — the assistant to faculty of soil science and management of ground resources of the Voronezh state university, PhD; e-mail: semionova.lyud@yandex.ru

Khatuntseva Olga A. — the post-graduate student of faculty of soil science and management of ground resources of the Voronezh State University; e-mail: ХОА.1986@yandex.ru