

## ВЛИЯНИЕ ЭРОЗИИ ПОЧВ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ И ВНУТРИПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАРГАНЦА, ЦИНКА И МЕДИ В ЧЕРНОЗЕМАХ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ РАМОНСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Х. А. Джувеликян, Н. С. Горбунова, И. В. Черепухина, В. Н. Агеев

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 19.06.2015 г.

**Аннотация.** Исследовано содержание и профильное распределение валового содержания и обменных форм соединений микроэлементов (Mn, Zn, Cu) в черноземах выщелоченных Рамонского района Воронежской области, расположенных на склоне юго-западной экспозиции и подверженных смыву. В качестве эталона сравнения изучались черноземы выщелоченные находящиеся на водоразделе и не подверженные процессам эрозии. Выявлено разрушительное действие эрозии почв на морфологическое строение почвенного профиля. Процессы смыва влияют на химические и физико-химические свойства почв, а также на содержание и миграцию микроэлементов.

**Ключевые слова:** микроэлементы, тяжелые металлы, марганец, цинк, медь, валовое содержание, обменные соединения, эрозия почв, черноземы выщелоченные, пространственное распределение, внутрипрофильное распределение.

**Abstract.** The content and profile distribution of gross and exchange forms of the compounds of trace elements (Mn, Zn, Cu) in the leached chernozem Ramon Voronezh region, located on the slopes of the south-western exposure and subject to washout. As a reference standard, and leached chernozem were studied in the watershed and are not subject to erosion processes. It revealed the ravages of soil erosion on the morphological structure of the soil profile. Processes flushing effect on the chemical and physico-chemical properties of the soil, as well as the maintenance and migration trace.

**Keywords:** trace elements, heavy metals, manganese, zinc, copper, total content, link exchange, soil erosion, leached chernozem, spatial distribution, intraprofile distribution.

Эрозия почв является одним из важнейших факторов уничтожения почвенного покрова и наиболее распространенной из всех видов почвенной деградации [1-4]. В климатических условиях Центрально-Черноземного региона основные потери почвы происходят в результате стока дождевых и талых вод. В результате водной эрозии в России произошли огромные потери почвы, и данная тенденция продолжается [5, 6].

В настоящее время водная эрозия протекает при сочетании природных и антропогенных факторов. Данное явление создает предпосылки для проявления ускоренной эрозии, а нерациональная хозяйственная деятельность является основной

причиной ее развития [1, 3, 4, 7]. В результате действия эрозии вместе с почвенными частицами вымываются семена, а также вносимые в почву удобрения, гербициды, пестициды и другие химические вещества, которые попадают в пруды, реки, водохранилища [1, 8]. Это приводит к экологической нагрузке на водный объект, его обитателей. После ливней или снеготаяния снижается качество воды в водоемах, происходит их заиление и эвтрофикация, приводящая к гибели водных обитателей [1, 9]. По данным ряда авторов [1-4, 7-9] в результате эрозионных процессов происходит вторичное загрязнение почвенного покрова многими химическими соединениями и в частности тяжелыми металлами (ТМ).

Цель настоящей работы – изучение пространственной и внутрипрофильной дифференциации

ТМ – Mn, Zn, Cu в черноземах выщелоченных, подверженных эрозии.

Физиологическая роль Mn, Zn, Cu в жизни растений велика. Например, Mn участвует в работе целого ряда природных белковых катализаторов-ферментов, регулирующих процессы фотосинтеза, дыхания и азотного обмена растений, а недостаток – вызывает у большинства растений бурую пятнистость. Цинк активизирует ферменты углеводного обмена (альдолазы, энолазы, карбоксилазы и др.) и способствует повышению интенсивности фотосинтеза. Недостаток Zn приводит к патологическим изменениям в растениях – задержка роста, мелколистность и розеточность. Медь участвует в синтезе белков и нуклеиновом обмене. Явления Cu- недостаточности вызывают следующие болезни: «белая чума», «болезнь верещатников», «болезнь обработки» [10-15].

Поэтому вопрос накопления, вымывания и перераспределения данных ТМ очень важен, поскольку их недостаток, так же как и избыток может отрицательно сказаться на росте и развитии растений, а в целом на состоянии окружающей среды.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования послужили черноземы выщелоченные средне- и малогумусные тяжелосуглинистые различной степени смытости, расположенные на склоне юго-западной экспозиции длиной 500 м, крутизной 5° на территории Рамонского района Воронежской области. Почвообразующими породами являются покровные карбонатные тяжелые суглинки и глины.

Данные почвы находятся на территории ФГУП им. А.Л. Мазлумова и ежегодно подвергаются распашке. На указанной территории была заложена почвенная catena представленная четырьмя полнопрофильными разрезами, вскрывающими почвообразующую породу, три из которых расположены на разных частях склона (верхняя, средняя и верхняя треть нижней части). Один разрез был заложен на водоразделе и представлен не смытым черноземом выщелоченным. Отбор образцов проводился послойно через каждые 10 см. Основные химические и физико-химические свойства определялись по общепринятым методикам [16]. Валовое содержание тяжелых металлов – сухим озолением почв с дальнейшей обработкой азотной кислотой 1:1 и H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (конц.) с конечным определением на атомно-абсорбци-

онном спектрофотометре КВАНТ – Z. ЭТА [17]. Обменные соединения ТМ – методом атомной абсорбции на спектрофотометре КВАНТ–Z.ЭТА в вытяжке ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) (рН 4.8) в соотношении почва раствор 1:10. Чувствительность определения 0.01 мкг/л, точность 4 %. [18]. Вариационно-статистическая обработка проводилась с использованием программ Stadia и Microsoft Excel.

Полевые исследования показали, что почвы, расположенные в различных частях склона, подвержены действию эрозии. Изучение морфологического строения почвенного профиля показали, что мощность гумусового горизонта чернозема выщелоченного на водоразделе составляет 75 см, на верхней части склона она сокращается на 20 см и равна 55 см (чернозем характеризуется как слабосмытый); на средней части – потеря достигает 34 см, а мощность А+АВ – 41 см (чернозем также характеризуется как слабосмытый); на нижней части склона гумусовый горизонт сокращается до 36 см, почва характеризуется как среднесмытая.

Полученные данные свидетельствуют, что максимальное содержание органического вещества характерно для слоя 0-10 см у чернозема выщелоченного, на водоразделе и не подверженного смыву, оно составляет 7.07 % (табл. 1).

Далее в убывающем ряду следуют почвы находящиеся на верхней, средней и нижней частях склона с содержанием гумуса 5.21 > 4.98 > 4.97 % (табл. 1). Такое резкое снижение в содержании органического вещества связано с влиянием эрозии, которая усиливается распашкой данной территории.

Реакция среды во всех изучаемых почвах в верхних горизонтах нейтральная или близкая к нейтральной. Из полученных данных видно, что четкой закономерности в изменении величины рН от степени смытости не обнаруживается, а во всех смытых почвах величина рН постоянна (табл. 1), такое явление отметила в своих исследованиях и О.А. Скрыбина [4]. С глубиной величина рН постепенно изменяется и становится слабощелочной (табл. 1). Величина гидролитической кислотности тесно связана с значением рН, с глубиной она постепенно уменьшается и в карбонатных горизонтах исчезает (табл. 1). В профильном распределении обменных катионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> наблюдается та же дифференциация, что и при распределении гумуса, поскольку обменные катионы прочно связываются с гуминовыми кислотами. Так же как и в содержании гумуса, максимальное количество суммы

обменных катионов отмечается в верхнем 0-10 см слое почвы водораздела (43.7 ммоль(+)/100 г почвы, табл. 1), меньшее их количество содержится в верхней, средней и нижней части склона и составляет 37.9; 37.6 и 37.5 ммоль(+)/100 г почвы соответственно. Среди обменных катионов доминирует кальций с максимальным содержанием в черноземе выщелоченном на водоразделе (табл. 1).

Внутрипрофильная дифференциация валового содержания и подвижных форм соединений Mn, Cu, Zn

**Марганец.** Кларк Mn в литосфере составляет 1000 мг/кг, в почвах – 850 мг/кг [19]. Результаты исследований показали, что содержание Mn в изучаемых почвах меньше его кларка, что свидетельствует о рассеянии элемента относительно литосферы.

Распределение валового марганца по профилю черноземов характеризуется накоплением его в верхних горизонтах, что обусловлено как биогенной аккумуляцией Mn, так и способностью его образовывать труднорастворимые соедине-

Таблица 1

## Химические и физико-химические свойства изучаемых почв

Глубина, см	pHводн.	Hг <sup>+</sup> , ммоль(+)/100 г почвы	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль (+)/100 г почвы		
				Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Р.1. Чернозём выщелоченный среднемошный среднегумусный тяжелосуглинистый на покровных карбонатных суглинках (водораздел)						
0-10	7.05	1.70	7.07	43.7	38.7	5.0
20-30	7.10	1.69	6.13	41.9	37.1	4.8
40-50	7.21	0.97	4.12	40.7	35.8	4.6
60-70	7.28	0.53	2.57	37.9	33.4	4.5
80-90	7.32	0.15	1.84	36.8	32.7	4.1
100-110	7.84	-	1.09	35.5	31.5	4.0
120-130	8.00	-	0.34	35.0	31.1	3.9
140-150	8.01	-	0.17	34.3	30.4	3.9
Р.2. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (верхняя часть склона)						
0-10	6.10	2.91	5.21	37.9	33.0	4.9
20-30	7.10	1.60	4.32	36.4	31.8	4.6
40-50	7.30	0.63	2.25	35.4	31.0	4.4
60-70	7.50	-	1.98	34.2	30.0	4.2
80-90	7.60	-	1.17	32.8	28.8	4.0
100-110	7.80	-	0.95	31.2	27.5	3.7
120-130	7.95	-	0.37	30.8	27.2	3.6
140-150	8.00	-	0.14	30.7	27.2	3.5
Р.3. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (средняя часть склона)						
0-10	6.10	2.85	4.98	37.6	32.6	5.0
20-30	6.95	1.99	3.88	36.1	31.2	4.9
40-50	7.59	0.93	1.87	34.9	30.3	4.6
60-70	7.80	-	1.11	33.4	29.1	4.3
80-90	7.85	-	0.74	32.1	28.2	3.9
100-110	7.90	-	0.30	31.0	27.2	3.8
120-130	7.95	-	0.23	30.8	27.1	3.7
140-150	8.02	-	0.11	30.6	26.9	3.7
Р.4. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый среднесмытый на покровный карбонатных суглинках (нижняя часть склона)						
0-10	6.10	2.87	4.97	37.5	33.0	4.5
20-30	6.57	1.93	3.83	36.2	32.0	4.2
40-50	7.28	0.55	1.64	35.2	31.1	4.1
60-70	7.79	-	0.98	34.0	30.1	3.9
80-90	7.85	-	0.52	32.6	28.9	3.7
100-110	7.95	-	0.27	31.0	27.6	3.4
120-130	8.00	-	0.20	30.8	27.5	3.3
140-150	8.03	-	0.12	30.4	27.1	3.3

ния в окислительной обстановке верхней толщи почв [20]. Поскольку черноземы характеризуются хорошей гумусированностью и тяжелым гранулометрическим составом, марганец слабо мигрирует по профилю. Кроме того, щелочная реакция почвенного раствора в нижней части профиля также ограничивает его подвижность. Данное положение подтверждается и нашими исследованиями для почв, не подверженных эрозии. В них валовое

содержание Mn в верхнем 0-10 см слое составляет 627 мг/кг, вниз по профилю происходит его постепенное снижение, а в карбонатных горизонтах наблюдается некоторое накопление металла за счет щелочной реакции почвенного раствора (табл. 2).

В черноземах на склоне отмечается несколько меньшее содержание валового марганца и составляет 500 и 462 мг/кг в верхней, средней и нижней части склона (табл. 2). Поскольку почвы склона

Таблица 2

Статистические показатели содержания валовой и подвижной форм соединений Mn черноземах ЦЧР

Глубина см	n	$x \pm s_x$	min	max	V	$x \pm s_x$	min	max	V	% от валового	
		Валовая форма					Вытяжка ААБ				
Р.1. Чернозём выщелоченный среднесплошный среднегумусный тяжелосуглинистый на покровных карбонатных суглинках (водораздел)											
0-10	3	627±12.2	599	657	4	67.6±1.0	66.1	69.3	2	10.8	
20-30	3	611±12.6	582	640	5	65.6±1.2	61.7	68.4	4	10.7	
40-50	3	594±7.2	580	613	3	62.5±1.7	56.6	66.1	6	10.5	
60-70	3	583±4.1	571	593	2	54.7±1.9	50.9	60.5	8	9.4	
80-90	3	576±2.8	570	584	1	52.9±2.0	49.2	59.2	8	9.2	
100-110	3	569±1.5	564	572	1	49.6±2.2	44.1	57.5	10	8.7	
120-130	3	571±1.8	568	578	1	48.0±2.2	42.3	55.8	10	8.4	
140-150	3	588±4.1	579	600	2	46.9±2.2	42.1	55.1	10	8.0	
Р.2. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (верхняя часть склона)											
0-10	3	500±11.3	489	521	7	53.1±2.4	50.4	56.6	10	10.6	
20-30	3	500±9.9	481	511	4	53.0±1.1	50.1	53.7	10	10.6	
40-50	3	491±10.4	472	497	4	50.4±1.7	48.8	51.3	9	10.3	
60-70	3	482±10.4	470	489	5	41.7±1.6	40.0	44.8	7	8.65	
80-90	3	478±9.8	464	483	3	39.3±1.8	37.3	40.0	11	8.22	
100-110	3	476±8.7	464	478	8	39.0±2.0	35.5	39.6	11	8.19	
120-130	3	476±8.5	460	478	9	34.5±2.0	32.1	36.4	9	7.25	
140-150	3	474±8.5	459	489	8	32.1±1.8	30.3	35.8	10	6.79	
Р.3. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (средняя часть склона)											
0-10	3	462±12.0	451	469	2	44.8±2.4	42.2	47.1	9	10.0	
20-30	3	461±12.0	450	466	7	44.5±2.3	41.0	46.6	9	9.65	
40-50	3	453±10.1	441	457	7	43.2±1.8	40.3	45.7	10	9.54	
60-70	3	450±9.6	440	452	11	40.8±1.6	37.9	43.4	8	8.91	
80-90	3	444±9.4	440	448	10	40.3±1.9	37.1	42.3	11	9.08	
100-110	3	437±9.4	432	439	8	37.4±2.3	35.5	39.6	10	8.56	
120-130	3	435±8.3	429	439	4	33.2±2.0	31.4	37.2	7	8.78	
140-150	3	424±5.1	411	428	7	30.1±2.0	29.3	32.4	7	7.10	
Р.4. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый среднесмытый на покровных карбонатных суглинках (нижняя часть склона)											
0-10	3	462±11.4	453	474	11	40.3±1.8	40.0	40.8	8	8.72	
20-30	3	457±10.3	449	461	6	38.7±1.3	37.9	40.0	8	8.47	
40-50	3	449±11.8	441	452	6	36.5±1.3	36.1	37.0	10	8.13	
60-70	3	441±10.1	436	447	9	36.0±1.0	35.4	36.2	11	8.16	
80-90	3	436±9.4	428	435	10	34.5±2.4	32.2	35.6	7	7.91	
100-110	3	431±8.6	425	432	11	34.0±2.3	33.3	34.7	6	7.89	
120-130	3	428±9.8	422	431	10	32.6±2.5	31.9	33.0	4	7.62	
140-150	3	428±9.1	410	430	8	31.5±2.5	30.4	33.2	4	7.36	
ПДК, мг/кг [21]		1500					700				

подвержены эрозии, то в них происходит потеря органического вещества и как следствие вымывание марганца, так как для данного металла характерно сродство с органическим веществом.

На количество обменного Mn также влияют эрозионные процессы. Так в почвах водораздела его содержание в верхнем 0-10 см слое составляет 67.6 мг/кг, а в черноземах выщелоченных расположенных в верхней, средней и нижней части склона – 53.1; 44.8; 40.3 мг/кг (табл. 2) соответственно. Что касается внутрипрофильного распределения обменного Mn, то наблюдается его биогенная аккумуляция, аналогично поведению валового содержания Mn. Вниз по профилю происходит постепенное уменьшение его содержания аналогично распределению гумуса.

Для валового содержания и обменных соединений Mn характерна невысокая степень варьирования его концентрации по всему профилю черноземов (табл. 2). Степень подвижности Mn в черноземах мала и колеблется в пределах от 6.79 до 10.8 % (табл. 2). Данное явление свидетельствует о труднодоступности данного микроэлемента для питания растений. Но с другой стороны это приводит к слабой миграции данного тяжелого металла и по профилю почв, и в пространстве и не приведет к вторичному загрязнению почв в результате эрозии. Вниз по профилю степень подвижности Mn уменьшается вследствие подщелачивания среды. Валовое содержание Mn и его обменные соединения не превышают ПДК, принятых для черноземных почв [21], следовательно загрязнение территории данным ТМ не происходит.

**Цинк.** Кларк Zn в литосфере равен 83 мг/кг, кларк почвы – 50 мг/кг [19]. Полученные данные показывают, что уровень содержания Zn в изучаемых почвах не превышает кларка почвы и литосферы. Относительно литосферы происходит рассеяние Zn.

Максимальное количество элемента приурочено к 0-10 см слою чернозема выщелоченного водораздела и составляет 49.2 мг/кг (табл. 3). Далее в убывающем ряду следуют почвы расположенные в верхней (35.1 мг/кг), средней (32.2 мг/кг) и нижней (31.8 мг/кг) части склона, что говорит о влиянии эрозии почв на пространственное распределение цинка. Вниз по профилю происходит равномерное уменьшение содержания элемента до 30.4 мг/кг (табл. 3). Что касается чернозема выщелоченного расположенного на водоразделе, то начиная с глубины 120-130 см отмечается воз-

растание концентрации металла и в слое 140-150 см содержание валового Zn достигает 41.1 мг/кг (табл. 3). Такое поведение элемента связано с его геохимией. Карбонатный горизонт является геохимическим барьером на пути миграции Zn, поскольку он способен образовывать с карбонатами труднорастворимые соединения [22].

Для валового Zn характерно незначительное варьирование его концентрации по всему профилю черноземов, что касается обменных соединений цинка, то варьирование более заметное (табл. 3).

Количество обменного цинка в изучаемых черноземах выщелоченных невелико и составляет 0.22-0.33 мг/кг в верхнем 0-10 см слое (табл. 3). Вниз по профилю происходит его равномерное снижение и на глубине 140-150 см составляет 0.11-0.13 мг/кг. Степень подвижности обменного цинка также мала и не превышает 0.85 % (табл. 3), данное положение свидетельствует об очень слабой подвижности данного тяжелого металла и его низкой способности к миграции, а следовательно к смыву в результате почвенной эрозии. Данные по валовому содержанию Zn и его обменным соединениям во всех изучаемых почвах свидетельствуют об отсутствии загрязнения, поскольку не превышают значения ПДК [21].

**Медь.** Кларк Cu в литосфере равен 47 мг/кг, кларк почвы – 20 мг/кг [19]. Содержание Cu в изучаемых почвах ниже кларка литосферы и кларка почв. Относительно кларка литосферы в изучаемых черноземах выщелоченных происходит рассеяние меди.

Полученные данные свидетельствуют о высокой органофильности Cu. Максимальное валовое содержание элемента отмечается в верхнем гумусовом горизонте изучаемых почв и составляет 17.1 мг/кг (табл. 4) в черноземе выщелоченном на водоразделе. Это явление отмечается и другими авторами, так И.О. Плеханова относит Cu к металлам тесно связанным с органическим веществом [23]. Вниз по профилю происходит довольно равномерное снижение содержания валовой меди и лишь в слое 140-150 см отмечается накопление данного ТМ. Поскольку с карбонатами почвенного раствора, Cu способна образовывать труднорастворимые соединения.

Так же как в случае с марганцем и цинком почвы склона теряют валовое и обменное содержание меди. Ее валовое содержание в верхнем 0-10 см слое уменьшается до 10.0 мг/кг, а обменное – до 1.94 мг/кг (табл. 4).

## Статистические показатели содержания валовой и подвижной форм соединений Zn в черноземах ЦЧР

Глубина см	n	x±s <sub>x</sub>	min	max	V	x±s <sub>x</sub>	min	max	V	% от валового	
		Валовая форма					Вытяжка ААБ				
Р.1. Чернозём выщелоченный среднечесунский среднечесунский тяжелосуглинистый на покровных карбонатных суглинках (водораздел)											
0-10	3	49.2±3.0	41.7	55.3	14	0.33±0.1	0.25	0.44	21	0.7	
20-30	3	44.5±5.5	40.2	52.7	13	0.30±0.1	0.24	0.37	17	0.7	
40-50	3	43.6±1.5	40.9	47.8	7	0.27±0.1	0.18	0.35	22	0.6	
60-70	3	41.0±1.6	39.2	42.5	3	0.24±0.1	0.17	0.34	29	0.6	
80-90	3	39.9±1.6	38.4	41.5	4	0.21±0.1	0.13	0.31	33	0.5	
100-110	3	38.8±1.4	38.1	39.8	2	0.18±0.1	0.12	0.29	39	0.5	
120-130	3	39.6±1.3	37.1	42.9	7	0.15±0.1	0.11	0.21	27	0.4	
140-150	3	41.1±2.2	38.4	44.3	7	0.13±0.1	0.11	0.16	15	0.3	
Р.2. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (верхняя часть склона)											
0-10	3	35.1±2.7	30.4	37.9	11	0.30±0.1	0.28	0.37	17	0.85	
20-30	3	35.0±2.1	30.4	36.7	12	0.27±0.1	0.23	0.32	20	0.77	
40-50	3	34.4±2.3	30.3	35.3	10	0.27±0.1	0.23	0.31	18	0.78	
60-70	3	33.9±1.8	29.4	34.6	7	0.25±0.1	0.21	0.29	15	0.74	
80-90	3	33.2±1.9	29.1	34.0	6	0.21±0.1	0.19	0.29	12	0.63	
100-110	3	33.2±2.0	29.0	33.8	10	0.22±0.1	0.15	0.24	13	0.66	
120-130	3	31.7±1.5	28.9	32.2	8	0.14±0.1	0.13	0.18	17	0.44	
140-150	3	31.1±1.4	28.4	34.2	8	0.13±0.1	0.11	0.15	17	0.42	
Р.3. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (средняя часть склона)											
0-10	3	32.2±2.5	29.1	34.3	12	0.22±0.1	0.20	0.24	18	0.68	
20-30	3	32.2±2.5	29.1	34.0	13	0.21±0.1	0.19	0.21	17	0.65	
40-50	3	31.5±2.3	29.0	33.7	9	0.21±0.1	0.19	0.21	17	0.67	
60-70	3	31.3±2.1	28.8	33.6	9	0.18±0.1	0.15	0.19	14	0.58	
80-90	3	31.0±2.0	28.5	33.3	10	0.16±0.1	0.14	0.17	14	0.52	
100-110	3	31.0±1.8	28.5	33.2	8	0.16±0.1	0.13	0.17	17	0.52	
120-130	3	30.8±1.9	28.1	33.0	7	0.12±0.1	0.09	0.13	15	0.39	
140-150	3	30.4±1.8	27.9	32.8	7	0.11±0.1	0.09	0.13	19	0.36	
Р.4. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый среднесмытый на покровных карбонатных суглинках (нижняя часть склона)											
0-10	3	31.8±2.4	28.8	33.5	11	0.22±0.1	0.20	0.23	20	0.69	
20-30	3	31.5±2.5	28.4	32.9	11	0.21±0.1	0.19	0.21	17	0.67	
40-50	3	31.4±1.7	28.3	32.2	9	0.20±0.1	0.16	0.21	17	0.64	
60-70	3	31.4±1.8	28.3	32.1	8	0.20±0.1	0.15	0.21	14	0.64	
80-90	3	31.1±2.0	27.7	31.9	7	0.18±0.1	0.15	0.20	15	0.58	
100-110	3	30.8±2.1	27.2	31.7	10	0.16±0.1	0.14	0.17	10	0.52	
120-130	3	30.8±2.1	26.7	31.7	10	0.15±0.1	0.13	0.15	10	0.49	
140-150	3	30.4±2.1	25.9	31.6	11	0.11±0.1	0.10	0.12	11	0.36	
ПДК, мг/кг [21]		150					23				

Содержание элемента уменьшается в ряду: водораздел (49,2) > верхняя (35.1) > средняя (32.2) > нижняя части склона (31.8 мг/кг), данное положение свидетельствует о влиянии эрозии почв на распределение элемента. Вниз по профилю происходит равномерное снижение валового содержания меди до 30.4 мг/кг.

Для валовой Си характерна небольшая степень варьирования ее количества во всех горизонтах черноземов (табл. 4). Немного выше степень ва-

рьирования характерна для обменной меди. Подвижность меди в изучаемых черноземах выщелоченных колеблется в пределах от 9.4 до 21.5 % (табл. 4). Данный показатель несколько выше, чем для марганца и цинка, а также свидетельствует о том, что медь больше способна к внутрипрофильной и пространственной миграции. Валовое содержание Си и ее обменные соединения во всех изучаемых черноземах не превышают ПДК [21], что говорит об отсутствии загрязнения данным ТМ.

Таблица 4

Статистические показатели содержания валовой и подвижной форм соединений Си в черноземах ЦЧР

Глубина см	n	$\bar{x} \pm s_x$	min	max	V	$\bar{x} \pm s_x$	min	max	V	% от валового
		Валовая форма					Вытяжка ААБ			
Р.1. Чернозём выщелоченный среднемощный среднегумусный тяжелосуглинистый на покровных карбонатных суглинках (водораздел)										
0-10	3	17.1±0.5	15.9	18.1	6	2.15±0.1	1.98	2.41	9	12.6
20-30	3	16.5±0.4	15.4	17.5	6	2.04±0.1	1.85	2.39	11	12.4
40-50	3	15.4±0.4	14.4	16.2	5	1.95±0.1	1.74	2.16	9	12.6
60-70	3	14.8±0.3	14.1	15.8	5	1.87±0.1	1.67	2.13	10	12.6
80-90	3	14.0±0.2	13.3	14.4	3	1.78±0.1	1.52	2.09	12	12.7
100-110	3	13.4±0.1	13.1	13.9	2	1.66±0.1	1.49	1.92	10	12.4
120-130	3	13.8±0.2	13.3	14.5	3	1.58±0.1	1.44	1.84	11	11.5
140-150	3	15.8±0.4	14.9	16.9	6	1.49±0.1	1.34	1.76	11	9.4
Р.2. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (верхняя часть склона)										
0-10	3	10.1±0.6	9.54	10.5	4	2.11±0.1	1.94	2.32	7	20.9
20-30	3	10.0±0.6	9.47	10.0	4	2.05±0.1	1.91	2.20	5	20.5
40-50	3	9.45±0.5	9.34	9.54	6	2.03±0.1	1.90	2.09	10	21.5
60-70	3	9.41±0.4	9.11	9.48	8	1.99±0.1	1.83	2.00	11	21.1
80-90	3	9.37±0.3	9.01	9.41	8	1.84±0.1	1.67	1.88	8	19.6
100-110	3	9.34±0.3	8.73	9.39	7	1.77±0.1	1.58	1.79	8	19.0
120-130	3	9.11±0.4	8.13	9.19	7	1.58±0.1	1.43	1.60	10	17.3
140-150	3	8.91±0.2	7.97	8.94	7	1.37±0.1	1.30	1.41	10	15.4
Р.3. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый слабосмытый на покровных карбонатных суглинках (средняя часть склона)										
0-10	3	10.0±0.6	9.03	10.8	6	1.99±0.1	1.74	2.05	10	19.9
20-30	3	10.0±0.6	9.00	10.5	2	1.99±0.1	1.74	2.01	9	19.9
40-50	3	9.98±0.4	9.58	10.0	2	1.87±0.1	1.61	1.89	8	18.7
60-70	3	9.56±0.4	9.44	9.88	4	1.83±0.1	1.57	1.89	11	19.1
80-90	3	9.23±0.5	9.11	9.51	5	1.75±0.1	1.53	1.77	11	18.9
100-110	3	8.74±0.5	8.42	8.88	5	1.68±0.1	1.42	1.69	10	19.2
120-130	3	7.83±0.2	7.25	7.89	7	1.57±0.1	1.37	1.58	9	20.1
140-150	3	7.01±0.3	6.67	7.21	7	1.35±0.1	1.24	1.40	7	19.3
Р.4. Чернозем выщелоченный малогумусный тяжелосуглинистый среднесмытый на покровный карбонатных суглинках (нижняя часть склона)										
0-10	3	10.0±0.8	8.98	10.9	3	1.94±0.1	1.71	2.01	9	19.4
20-30	3	9.69±0.7	8.37	9.70	2	1.93±0.1	1.70	2.00	10	19.9
40-50	3	9.17±0.3	8.13	9.23	2	1.83±0.1	1.62	1.91	8	19.9
60-70	3	8.78±0.2	7.92	8.81	4	1.72±0.1	1.52	1.83	8	19.6
80-90	3	8.53±0.4	7.92	8.55	5	1.54±0.1	1.41	1.78	7	18.1
100-110	3	8.27±0.5	7.15	8.28	5	1.50±0.1	1.41	1.60	7	18.1
120-130	3	7.74±0.5	7.00	7.91	5	1.47±0.1	1.38	1.51	7	19.0
140-150	3	7.00±0.6	6.56	7.19	3	1.35±0.1	1.23	1.36	7	19.3
ПДК, мг/кг [21]	100				30-40					

### ВЫВОДЫ

Как показали результаты исследования, эрозия оказывает сильное влияние на почвенные процессы. Она изменяет морфологическое строение почв, приводит к смыву верхней части гумусового профиля, ухудшая почвенное плодородие. В черноземах расположенных на склоне произошла потеря органического вещества, обменных катионов кальция и магния.

Установлено закономерное снижение валового содержания элементов в следующем ряду: чернозем выщелоченный водораздел > верхняя часть склона > средняя часть склона > нижняя часть склона. Данная закономерность характерна и для обменных соединений Mn, Zn и Cu. Вниз по профилю происходит равномерное снижение изучаемых элементов. В карбонатном горизонте чернозема выщелоченного расположенного на водоразделе наблюдается небольшое накопление

валового содержания ТМ. Поскольку карбонатный горизонт является геохимическим барьером для них.

Степень подвижности цинка в черноземах очень мала, с глубиной она уменьшается, что связано с подщелачиванием среды. Это делает элемент очень трудно доступным для питания растений, и не способным к миграции. Марганец и медь обладают более высокой степенью подвижности.

Валовое содержание ТМ и их подвижных соединений во всех изученных черноземах не превышает ПДК, установленных для черноземных почв, а также не превышает кларка почв по Виноградову. Относительно литосферы в черноземах наблюдается рассеяние Mn, Zn, Cu. Таким образом, в изучаемых почвах подверженных эрозии не отмечается вторичного загрязнения Mn, Zn и Cu.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комиссаров М.А. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье / М.А. Комиссаров, И.М. Габбасова // Почвоведение. — 2014. — №6. — С. 734-743.
2. Корпачевский Л.О. Проблема эрозии почв при снеготаянии / Л.О. Корпачевский // Почвоведение. — 2003. — №2. — С. 244-245.
3. Кузнецов М.С. Эрозия и охрана почв / М.С. Кузнецов, Г.П. Глазунов. — М.: МГУ, 2004. — 330 с.
4. Скрябина О.А. Водная эрозия почв и борьба с ней / О.А. Скрябина. — Пермь.: Кн. Изд-во, 1990. — 244 с.
5. Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России / Л.Ф. Литвин. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. — 225 с.
6. Сухановский Ю.П. Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы / Ю.П. Сухановский // Почвоведение. — 2013. — №4. — С. 474-481.
7. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. — М.: Колос, 1996. — 367 с.
8. Muthanna T.M. Snowmelt pollutant removal in bioretention areas / T.M. Muthanna, S.T. Thorolfsson, M. Viklander, G. Blecken // Water research. — 2007. — № 18. — V. 18. — P. 4061-4072.
9. Sayer Carl D. Establishing realistic restoration targets for nutrient-enriched shallow lakes: linking diatom ecology and palaeoecology at the Attenborough ponds, U.K. / D. Sayer Carl, Neil. Roberts // Hydrobiologia. 2001. — № 1-3. — V. 448. — P. 117-142.
10. Кабанов Ф.И. Микроэлементы и растения / Ф.И. Кабанов. — М.: Просвещение, 1977. — 136 с.
11. Пейве Я.В. Микроэлементы - регуляторы жизнедеятельности и продуктивности растений / Я.В. Пейве. — Рига: Изд-во Зинатне, 1971. — 250 с.
12. Пейве Я.В. Микроэлементы и ферменты / Я.В. Пейве. — Рига: Изд-во АН Латвийской ССР, 1960. — 136 с.
13. Полевой В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. — М.: Высш. шк., 1989. — 464 с.
14. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. — Л.: Наука, 1974. — 324 с.
15. Якушкина Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина. — М.: Просвещение, 1980. — 303 с.
16. Воробьева Л.А. Химический анализ почв / Л.А. Воробьева. — М.: МГУ, 1998. — 272 с.
17. Кузнецов А.В. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства / А.В. Кузнецов, А.П. Сесюн, И.Г. Самохвалов, А.П. Махонько. — М., 1992. — 61 с.
18. Спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ-Z.ЭТА. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ГКНЖ.0900.000Т0. — М., 1995. — 57 с.
19. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. - М.: Изд-во АН СССР, 1957. - 238 с.
20. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. — М.: Астрей-2000, 1999. — 768 с.
21. Обухов А.И. Научные основы разработки ПДК тяжелых металлов в почвах. — Тяжелые металлы в окружающей среде / А.И. Обухов, Н.Г. Зырин. — М.: Изд-во Москов. ун-та, 1980. — С. 20-28.
22. Геохимия тяжелых металлов в природных и техногенных ландшафтах / А.Л. Воробьева, Е.А. Лобанова, Л.Л. Новых и др. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 195 с.
23. Плеханова И.О. Трансформация соединений тяжелых металлов в почвах при увлажнении / И.О. Плеханова. Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д. б. н. — М., 2008. — 49 с.

*Воронежский государственный университет  
Джувеликян Х. А., доктор биологических наук,  
профессор кафедры почвоведения и управления  
земельными ресурсами*

*Voronezh State University  
Dzhuvelikjan Kh. A., Dr.Sci.Biol., professor,  
faculty of soil science and management of ground  
resources*

*Горбунова Н. С., кандидат биологических наук, старший преподаватель, кафедра почвоведения и управления земельными ресурсами*

*E-mail: vilian@list.ru*

*Тел.: 220-85-77*

*Черепухина И. В., кандидат биологических наук, ассистент кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами*

*E-mail: irenius@list.ru*

*Тел.: 220-85-77*

*Агеев В. Н., аспирант кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами*

*E-mail: pochvoed@rambler.ru*

*Тел.: 220-85-77*

*Gorbunova N. S., Cand.Biol.Sci., the senior teacher; Dept. of soil science and management of ground resources*

*E-mail: vilian@list.ru*

*Ph.: 220-85-77*

*Cherepuhina I. V., Cand.Biol.Sci., the assistant, Dept. of soil science and management of ground resources*

*E-mail: irenius@list.ru*

*Ph.: 220-85-77,*

*Ageev V. N., post-graduate student, Dept. of soil science and management of ground resources*

*E-mail: pochvoed@rambler.ru*

*Ph.: 220-85-77*