УДК 631.459:631.445.4

**Агроэкологическая оценка выщелоченных черноземов разной степени
смытости в условиях склоновой катены ЦЧР**

Горбунова Н.С.¹, Громовик А.И.¹, Девятова Т.А.¹, Васенев И.И.²

¹Воронежский государственный университет

²РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация

На основе комплексных исследований агроэкологических параметров выщелоченных черноземов разной степени смытости в условиях склоновой катены лесостепной зоны Центрально-Черноземного региона (ЦЧР), показаны особенности агрогенно-эрозионной трансформации морфогенетических, химических и физико-химических свойств рассматриваемых почв на базовых уровнях их структурной организации – в зависимости от степени эродированности. Рассмотрено влияние процессов поверхностного плоскостного смыва и внутрипочвенной боковой миграции на содержание и распределение наиболее проблемных тяжелых металлов – Pb, Cd. Анализ результатов исследований показал, что развитие эрозионных процессов в условиях характерного для ЦЧР склонового типа местности приводит к значительной трансформации основных диагностических показателей агроэкологического состояния выщелоченных черноземов, прежде всего, – к деградации их морфогенетического и гумусового профиля. Установлено существенное и дифференцированное по склону влияние эрозионных процессов на уровне элементарных почвенных частиц, мезо- и макроуровнях структурной организации почв. Процессы эрозии и латеральной миграции изменяют содержание и профильное распределение Cd и особенно Pb в исследованных выщелоченных черноземах. В смытых почвах отмечается увеличение их подвижности и накопление в нижней части почвенного профиля.

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМЫ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЕ, АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ЭРОЗИЯ, ТРАНСФОРМАЦИЯ И ДЕГРАДАЦИЯ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, СВИНЕЦ, КАДМИЙ

Введение

В условиях расчлененного рельефа лесостепной зоны европейской части России происходят огромные потери почв при стоке дождевых и талых вод. Эродированные почвы в ЦЧР занимают значительную часть сельскохозяйственных угодий. В связи с интенсификацией земледелия эти потери возрастают ежегодно [1-4]. Развитие эрозионных процессов на черноземах неизбежно приводит к трансформации их агроэкологического состояния, сопровождающейся изменением структурной организации почв [5]. Происходит утрата водопропрочной агрономически ценной структуры и смыв тонкодисперсной части почвы, обогащенной органическим веществом и коллоидами, на поверхности которых сорбированы тяжелые металлы (ТМ) [2, 6, 7]. Водная миграция веществ в составе пролювия может сопровождаться переносом и вторичным загрязнением ТМ почвенного покрова и сопряженных с ним компонентов ландшафта [2, 8]. Исходя из этого, **целью данной работы** было выявить направления трансформации агроэкологического состояния выщелоченных черноземов в условиях склонового типа местности лесостепи ЦЧР.

Объекты и методы

Полевые работы проводились в северной части Воронежской области (N 51.999734°, E 39.281221°), где были заложены ключевые почвенные разрезы на катене, представляющей собой водораздельный участок, переходящий в слабополгий склон юго-западной экспозиции длиной около 1500 м и крутизной 5°. Почвенные разрезы закладывались на разных участках катены с шагом 500 м: водораздел (чернозем выщелоченный малогумусный среднемощный среднесуглинистый), верхняя часть склона (чернозем слабосмытый), средняя часть склона (чернозем среднесмытый). Почвообразующие породы – покровные карбонатные суглинки, подстилаемые древнеаллювиальными отложениями.

Из почвенных разрезов были отобраны образцы с одинаковых глубин: 0-20, 40-60, 80-100 и 120-140 см. Определены основные химические, физико-химические и физические показатели почв по общепринятым методам [9, 10]. Валовое содержание ТМ и их обменные соединения [11] определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре КВАНТ-Z.ЭТА, чувствительность определения – 0,01 мкг/л, точность –

4%. Среди ТМ были выбраны свинец (Pb) и кадмий (Cd), которые являются приоритетными загрязнителями. Существует вероятность их дополнительного поступления в качестве элементов-примесей в составе удобрений, применяемых для получения более высоких урожаев. Кроме того, данные металлы являются компонентами дизельного топлива, используемого для работы сельскохозяйственной техники, и продуктов его переработки. Результаты были обработаны статистически с использованием пакета анализа программы Microsoft Excel 2010.

Результаты исследований

Исследуемые черноземы характеризуются среднесуглинистым гранулометрическим составом с преобладанием фракции среднего песка (ЭПЧ размером 1–0,25 мм). Несмотря на общее сходство гранулометрического состава, почвы имеют некоторые различия в распределении гранулометрических фракций. В черноземах водораздельного участка преобладающей фракцией является среднепесчаная (27,7%), а сопутствующими – средне- (9,2%) и мелко-пылеватая (13,2%). У слабо- и среднесмытых разновидностей преобладает фракция среднего песка (43,3–43,8 %) в слабосмытых и (40,9–41,0 %) – в среднесмытых.

Минимальный выход илистых частиц при микроагрегатном анализе, а, значит, и лучшая микроструктура и структура в целом, отмечаются у почв водораздела, где фактор дисперсности составляет 28%. В среднесмытых черноземах на склоне выход илистой фракции заметно возрастает (до 42–48 %), а микроструктура и структура этих почв менее прочная. Лучшим фактором структурности обладают черноземы водораздела (50%).

Эродированные почвы отличаются более низким фактором структурности, то есть они имеют меньшую потенциальную возможность к оструктуриванию. От слабосмытых к среднесмытым почвам фактор структурности уменьшается от 37 до 34 %.

Черноземы на водоразделе имеют лучший структурно-агрегатный состав. Содержание мезоагрегатов (0,25–10,0 мм) составляет в них 65% (соответствует хорошей оструктуренности), коэффициент структурности – 1,82. Суммарное количество агрегатов крупнее 0,25 мм при мокром просеивании составляет 67%, что позволяет оценить водоустойчивость почвы как отличную (по Кузнецовой И.В). Критерий водопрочности агрегатов (АФИ) составляет 450–466 %, что тоже позволяет оценить почвенную структуру

как хорошую.

Эрозионные процессы приводят к сокращению мощности гумусового профиля (А+АВ) в среднем на 30 см. Степень эродированности черноземов существенно влияет на содержание и профильное распределение гумуса в них. Наиболее существенные потери гумуса по сравнению с почвой водораздела отмечены в среднесмытом черноземе (табл. 1).

Таблица 1. Химические и физико-химические свойства выщелоченных черноземов склоновой катены, n = 5

Глубина, см	Гумус, %	рН _{водн.}	Обменные катионы, смоль(+)/кг			V, %
			H ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$					
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые (водораздел)						
0-20	5,16±0,17	6,5±0,14	2,1±0,12	24,1±0,90	5,3±0,12	88
40-60	2,86±0,11	7,1±0,12	1,1±0,10	20,4±0,91	4,3±0,11	96
80-100	1,25±0,09	7,5±0,11	-	18,5±0,93	4,0±0,13	98
120-140	0,60±0,04	8,0±0,09	-	17,8±0,95	3,5±0,12	100
Черноземы выщелоченные малогумусные слабосмытые (верхняя часть склона)						
0-20	4,49±0,15	6,5±0,11	2,3±0,10	23,7±1,10	5,1±0,11	87
40-60	1,66±0,08	7,1±0,09	1,0±0,10	19,1±0,99	4,0±0,09	95
80-100	1,00±0,03	7,9±0,10	-	18,0±0,84	3,8±0,09	100
120-140	0,51±0,03	8,1±0,06	-	17,3±0,89	3,6±0,08	100
Черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесмытые (средняя часть склона)						
0-20	3,66±0,18	6,9±0,13	1,8±0,09	22,3±0,98	4,8±0,11	88
40-60	1,40±0,10	7,6±0,11	-	18,7±1,01	3,9±0,10	99
80-100	0,92±0,05	7,9±0,08	-	17,9±0,96	3,7±0,10	100
120-140	0,32±0,03	8,2±0,09	-	16,9±0,89	3,5±0,09	100

Примечания: n – количество образцов; $\bar{x}$ – среднее арифметическое; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического.

Актуальная и гидролитическая кислотности не имеют существенных различий. Исключением является среднесмытый чернозем. В результате смыва в верхней части профиля происходит подтягивание карбонатов к поверхности, следствием чего является понижение гидролитической кислотности. В почвенно-поглощающем комплексе (ППК) обменный Ca²⁺ преобладает над Mg²⁺. Степень насыщенности черноземов основаниями составляет: для слабосмытых почв – 87%, для среднесмытых – 88%.

Изучаемые тяжелые металлы Pb и Cd как приоритетные загрязнители окружающей среды и почвенного покрова способны выступать показателем, характеризующим экологическое состояние черноземов [12-15]. Pb и Cd в качестве примесей минеральных

удобрений, а также в составе продуктов переработки топлива сельскохозяйственной техники, поступают на поверхность почвы, вовлекаются в водную миграцию вместе с твердыми частицами почвы. Важное значение имеет транспортировка непрочно фиксированных форм ТМ, которые могут переходить в подвижное состояние и включаться в миграционные потоки, в том числе и в результате эрозии почв. Поэтому для определения потенциальной возможности к миграции ТМ важно иметь представление не только о валовом содержании Pb и Cd, но и их обменных соединениях.

Особенностью Pb является его сродство с глинистыми минералами, органическим веществом, карбонатами [16], оксидами и гидроксидами Fe, где Pb закрепляется в форме $Pb(OH)^+$ [17]. Согласно электронной теории химической связи Льюиса, Pb представляет собой кислоту с высокими значениями параметра мягкости Мизоно (около 0,4). Это определяет способность Pb к адсорбции на различных компонентах твердой фазы почвы, а также образованию внутрисферных комплексов [18]. Данными положениями объясняется накопление Pb в верхнем 0-20 см слое (табл. 2).

Параллельно уменьшению содержания гумуса вниз по профилю происходит и снижение валового содержания Pb. В переходной к почвообразующей породе текстурной части профиля, в горизонте Bt, наблюдается увеличение содержания Pb за счет более высокого содержания илистых частиц и подщелачивания почвенного раствора. Согласно данным С.В. Зонна [19], для горизонта Bt характерно накопление свободных соединений Fe, которые способны удерживать ряд ТМ, в том числе и Pb.

В отличие от почв водораздела, для эродированных черноземов на склоне характерен элювиальный тип профильного распределения Pb с максимумом содержания в переходном к почвообразующей породе горизонте BC (табл. 2). Особенности профильного распределения Pb в профиле смытых почв могут быть связаны с поверхностным смывом наиболее тонкодисперсного материала и органического вещества из верхней части профиля.

Характерный для полнопрофильных (несмытых) черноземов аккумулятивный тип профильного распределения подвижных форм Pb связан с высоким содержанием органического вещества в их верхних горизонтах [20, 21]. В нижних горизонтах, обогащенных илистыми частицами и свободными карбонатами, которые прочно удерживают Pb, содержание его подвижных форм уменьшается.

Таблица 2. Валовое содержание и подвижные формы Pb и Cd (мг/кг) в выщелоченных черноземах склоновой катены, n = 5

Глубина, см	Pb		Cd	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min-max	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	min-max
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые (водораздел)				
0-20	$\frac{21,2 \pm 0,44}{1,3 \pm 0,07}$	$\frac{20,1-22,2}{1,0-1,5}$	$\frac{0,23 \pm 0,01}{0,06 \pm 0,01}$	$\frac{0,20-0,26}{0,04-0,07}$
40-60	$\frac{16,6 \pm 0,57}{1,1 \pm 0,06}$	$\frac{16,4-17,0}{0,8-1,2}$	$\frac{0,18 \pm 0,01}{0,05 \pm 0,01}$	$\frac{0,16-0,20}{0,03-0,06}$
80-100	$\frac{18,6 \pm 0,12}{0,9 \pm 0,05}$	$\frac{17,0-20,0}{0,7-1,1}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{0,03 \pm 0,01}$	$\frac{0,19-0,22}{0,02-0,05}$
120-140	$\frac{20,7 \pm 0,12}{0,8 \pm 0,07}$	$\frac{20,4-21,0}{0,5-0,9}$	$\frac{0,23 \pm 0,02}{0,03 \pm 0,01}$	$\frac{0,21-0,23}{0,02-0,04}$
Черноземы выщелоченные малогумусные слабосмытые (верхняя часть склона)				
0-20	$\frac{15,6 \pm 0,17}{1,9 \pm 0,02}$	$\frac{15,0-16,0}{1,1-2,5}$	$\frac{0,25 \pm 0,01}{0,07 \pm 0,01}$	$\frac{0,23-0,28}{0,05-0,07}$
40-60	$\frac{16,7 \pm 0,42}{1,4 \pm 0,02}$	$\frac{15,6-17,6}{0,8-2,2}$	$\frac{0,22 \pm 0,01}{0,05 \pm 0,01}$	$\frac{0,21-0,23}{0,03-0,06}$
80-100	$\frac{17,3 \pm 0,45}{1,0 \pm 0,03}$	$\frac{16,2-18,2}{0,6-1,6}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{0,03 \pm 0,01}$	$\frac{0,20-0,21}{0,02-0,05}$
120-140	$\frac{18,4 \pm 0,29}{0,7 \pm 0,03}$	$\frac{17,6-19,0}{0,4-1,3}$	$\frac{0,21 \pm 0,01}{0,02 \pm 0,01}$	$\frac{0,20-0,21}{0,02-0,03}$
Черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесмытые (средняя часть склона)				
0-20	$\frac{15,0 \pm 0,30}{1,3 \pm 0,10}$	$\frac{14,4-16,0}{1,0-1,6}$	$\frac{0,18 \pm 0,01}{0,05 \pm 0,01}$	$\frac{0,16-0,21}{0,04-0,07}$
40-60	$\frac{16,5 \pm 0,21}{1,0 \pm 0,09}$	$\frac{15,3-17,3}{0,9-1,1}$	$\frac{0,19 \pm 0,01}{0,04 \pm 0,01}$	$\frac{0,17-0,22}{0,03-0,05}$
80-100	$\frac{18,2 \pm 0,34}{0,9 \pm 0,08}$	$\frac{17,4-19,4}{0,7-1,0}$	$\frac{0,20 \pm 0,01}{0,03 \pm 0,01}$	$\frac{0,20-0,22}{0,02-0,04}$
120-140	$\frac{19,5 \pm 0,28}{0,7 \pm 0,10}$	$\frac{18,3-20,2}{0,5-0,9}$	$\frac{0,21 \pm 0,01}{0,04 \pm 0,01}$	$\frac{0,20-0,22}{0,02-0,04}$
ПДК, мг/кг [12]	$\frac{100}{6}$		$\frac{1}{0,1-0,5}$	

Примечания: в числителе – валовое содержание, в знаменателе – содержание подвижных форм, n – количество образцов; $\bar{x}$ – среднее арифметическое; $s_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического.

Степень подвижности Pb в верхнем горизонте смытых почв в два раза выше, чем в черноземах водораздела, и составляет 12,2%, что связано с потерей почвами органического вещества, тонкодисперсной части и отсутствием свободных карбонатов. Степень подвижности Pb вниз по почвенному профилю падает до 3,6%.

Cd, так же как и Pb (согласно электронной теории Льюиса), обладает

промежуточными значениями параметра мягкости Мизоно, что определяет его способность создавать прочные комплексы с органическими лигандами [18]. Данное явление объясняет накопление Cd в верхнем горизонте изучаемых почв (табл. 2). Более высокое содержание кадмия отмечено в почвах водораздела и верхней части склона (0,23-0,25 мг/кг). В почвах, расположенных ниже по склону, содержание Cd в слое 0-20 см снижается. Валовое содержание данного элемента в почвах водораздела и верхней части склона распределяется по аккумулятивно-элювиально-иллювиальному типу с максимальным накоплением в верхней и самой нижней частях профиля. Причиной тому в последнем случае является закрепляющее действие карбонатов в переходных к почвообразующей породе горизонтах.

В эродированных почвах, испытывающих более интенсивное воздействие поверхностного стока (средняя часть склона), валовое содержание Cd в верхнем горизонте существенно меньше и характеризуется иным типом его профильного распределения.

В почве средней части склона (слабосмытой) просматривается некоторое накопление элемента в верхней части профиля. Отмеченные различия в профильном распределении металла объясняются существенной трансформацией почвенных процессов и режимов в условиях интенсивного воздействия эрозии (среднесмытая почва). При более интенсивном смыве биологическое накопление химических элементов в верхнем горизонте почвы не компенсирует потери их с поверхностным стоком.

Элювиальное распределение валового содержания Cd в эродированных почвах связано с повышенной потерей органического вещества из верхних горизонтов в результате смыва, а Cd способен образовывать комплексные соединения с органическим веществом. Это свидетельствует о существенном влиянии эрозии и латерального стока на геохимию Cd.

Кривая профильного распределения подвижного кадмия носит аккумулятивный характер, так же как и показатель его подвижности. Это еще раз подтверждает, что свободные карбонаты и органическое вещество почвы сдерживают активную миграцию Cd (см. табл. 2). Cd обладает более высокой степенью подвижности, чем Pb, которая в верхних горизонтах почв достигает 28,0%. Вниз по профилю степень подвижности существенно снижается и в почвообразующей породе составляет 9,5-19% от валового содержания.

Заключение

Эрозионные процессы ведут к агрогенно-эрозионной деградации гумусового профиля выщелоченных черноземов склоновых катен ЦЧР со значительным снижением гумусированности слабо- и средне- смытых почв и уменьшением мощности их гумусового профиля (A+AB). Состояние ППК исследуемых почв существенно зависит от содержания в них гумуса.

В среднесмытых разновидностях с приближением карбонатных горизонтов к дневной поверхности отмечается статистически достоверное повышение актуальной реакции среды и снижение гидролитической кислотности.

В результате эрозии черноземов происходят существенные изменения на гранулометрическом и агрегатном уровнях структурной организации их верхних горизонтов. Поскольку в результате эрозии почвы теряют наиболее структурно-активные (в клеющем отношении) элементарные почвенные частицы размером менее 0,005 мм, то с увеличением степени смытости снижается качество оструктуренности почв: с дифференциацией от слабосмытых к среднесмытым разновидностям. Трансформация структурно-агрегатного состава черноземов в зависимости от степени смытости идет по пути снижения количества их агрономически ценных агрегатов и приводит к уменьшению коэффициента структурности. Ухудшается водоустойчивость почвенных агрегатов.

Эрозия почв оказывает влияние на содержание и профильное распределение тяжелых металлов. В смытых выщелоченных черноземах отмечается более высокое содержание Pb и Cd в нижней части почвенного профиля по сравнению с верхними горизонтами. В несмытых аналогах формируются 2 максимума аккумуляции Pb – верхний и нижний.

Для Cd основным геохимическим барьером на пути его миграции выступают карбонаты. Cd обладает низкой биофильностью, но за счет своей повышенной подвижности может быть легко доступным растениям, что приводит к его накоплению в верхней части профиля несмытых почв – за счет более интенсивного биологического круговорота.

Степень подвижности Pb возрастает в верхних горизонтах смытых почв, что указывает на повышенную вероятность его миграции в ландшафте. Для Cd характерна в целом большая степень подвижности, но в нижних горизонтах почвенного профиля она

существенно уменьшается вследствие подщелачивания почвенной среды.

Таким образом, эрозионные процессы оказывают значительное негативное влияние на все уровни структурной организации исследованных выщелоченных черноземов в условиях представительной склоновой катены ЦЧР, изменение их гумусового состояния, почвенного поглощающего комплекса и подвижности свинца и кадмия. Это необходимо учитывать при комплексной агроэкологической оценке влияния эрозии на качество выщелоченных черноземов при определении масштаба проектирования противоэрозионных мероприятий.

Список использованных источников

1. Голосов В.Н., Геннадиев А.Н., Олсон К.Р., Маркелов М.В., Жидкин А.П., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г. Пространственно-временные особенности развития почвенно-эрозионных процессов в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. – 2011. – № 7. – С. 861-869.
2. Комиссаров М.А., Габбасова И.М. Эрозия почв при снеготаянии на пологих склонах в южном Предуралье // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 734-743.
3. Кузнецов М.С., Абдулханова Д.Р. Допустимые пределы эрозионных потерь почв Центрально-Черноземной области европейской территории России // Почвоведение. – 2013. – №7. – С. 882-889.
4. Сухановский Ю.П. Вероятностный подход к расчету эрозионных потерь почвы // Почвоведение. – 2013. – № 4. – С. 474-481.
5. Скворцова Е.Б. Изменение геометрического строения пор и агрегатов как показатель деградации структуры пахотных почв // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1345-1353.
6. Muthanna T.M., Thorolfsson S.T., Viklander M., Blecken G. Snowmelt pollutant removal in bioretention areas // Water research. – 2007. – № 18. – V. 18. – P. 4061-4072.
7. Шпедт А.А., Трубников Ю.Н., Жаринова Н.Ю. Агрогенная деградация почв и почвенного покрова Красноярской лесостепи // Почвоведение. – 2017. – № 10. – С. 1253-1261.
8. Sayer Carl D., Roberts Neil. Establishing realistic restoration targets for nutrient-enriched shallow lakes: linking diatom ecology and paleoecology at the Attenborough ponds, U.K. // Hydrobiology. – 2001. – № 1-3. – Vol. 448. – P. 117-142.
9. Щеглов Д.И., Громовик А.И., Горбунова Н.С. Основы химического анализа почв. – Воронеж: Издательский Дом ВГУ, 2019. – 332 с.
10. Громовик А.И., Черепухина И.В. Методы исследования физических свойств почв: учебно-методическое пособие. – Воронеж: ООО «Издательство РИТМ», 2018. – 90 с.

11. Кузнецов А.В., Фесюн А.П., Самохвалов С.Г., Махонько Э.П. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
12. Чернова О.В., Безуглова О.С. Опыт использования данных фоновых концентраций тяжелых металлов при региональном мониторинге загрязнения почв // Почвоведение. – 2019. – № 8. – С. 1015-1026.
13. Alloway B.J. Heavy Metals and Metalloids as Micronutrients for Plants and Animals // Heavy Metals in Soils. Environmental Pollution. – Vol. 22. Dordrecht: Springer. – 2013. – P. 195–209.
14. Antoniadis V., Shaheen S.M., Levizou E., Shahid M., Niazi N.K., Vithanage M., Ok Y.S., Bolan N., Rinklebe J. A critical prospective analysis of the potential toxicity of trace element regulation limits in soils worldwide: Are they protective concerning health risk assessment? - A review // Environment International. – 2019. – Vol. 127. – P. 819–847.
15. Swartjes F.A., Rutgers M., Lijzen J.P.A., Janssen P.J.C.M., Otte P.F., Wintersen A., Brand E., Posthuma L. State of the art of contaminated site management in The Netherlands: Policy framework and risk assessment tools // Science of The Total Environment. – 2012. – Vol. 427-428. – P. 1-10.
16. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель-2000, 1999. – 768 с.
17. Stumm W. Chemistry of the Solid-Water Interface. John Wiley & Sons, Inc. – New York/ Chichester / Brisbane / Toronto / Singapore, 1992. – 428 p.
18. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам химии почв. – Тула: Гриф и К, 2009. – 172 с.
19. Зонн С.В. Железо в почвах. – М.: 1982. – 207 с.
20. Нестерук (Шипкова) Г.В., Минкина Т.М., Федоров Ю.А., Невидомская Д.Г., Сушкова С.Н., Константинова Е.Ю. Содержание и распределение Mn, Fe, Ni, Cu, Zn и Pb в автоморфных почвах Полистовского заповедника // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2019. – № 46. – С. 6-25.
21. Антропогенная эволюция чернозема / Под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. – Воронеж: ВГУ, 2000. – 411 с.

Цитирование:

Горбунова Н.С., Громовик А.И., Девятова Т.А., Васенев И.И. Агроэкологическая оценка выщелоченных черноземов разной степени смытости в условиях склоновой катены ЦЧР [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_510.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20215510>.