

Рус. УДК 631.421

Разложение листового опада в черноземе обыкновенном карбонатном при загрязнении цинком и влияние на этот процесс гуминового препарата ВЮ-Дон

Безуглова О.С., Горбов С.Н., Корбань В.А., Михайлова Е.А., Пиргулян Е.А., Скрипников П.Н., Тагивердиев С.С., Федорец Д.Г., Шерстнев А.К.
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

DOI: 10.18522/2308-9709-2021-35-5

Аннотация:

В модельном эксперименте изучалось разложение листового опада тополя белого в гумусово-аккумулятивном горизонте чернозема обыкновенного карбонатного (миграционно-сегрегационного). Варианты опыта включали искусственное загрязнение раствором сульфата цинка, а также полив водой с гуминовым препаратом. Продолжительность эксперимента 1 месяц. По истечении этого срока отбирали почву и разлагающийся опад. В почве определяли валовое содержание цинка рентгенофлуоресцентным методом и количество подвижных соединений цинка в ацетатно-аммиачной вытяжке на атомно-адсорбционном спектрометре. А также состояние структурных отдельностей методом сухого и мокрого просеивания. В водной вытяжке из разлагающегося листового опада определяли содержание углерода и азота. Установлено, что полив водой с раствором гуминового препарата способствует ускорению процессов разложения и гумификации опада из листьев: увеличивается концентрация углерода в вытяжке из разлагающегося опада, а также величина коэффициента цветности. Внесение с поливной водой сульфата цинка привело к высокой степени деградации почвы, и это снизило скорость разложения растительных остатков. Совместное внесение сульфата цинка и гуминового препарата ускоряет разложение растительного опада, практически снимая негативное влияние на этот процесс цинкового загрязнения. При внесении гуминового удобрения в почву происходит значительное увеличение доли агрономически ценных агрегатов и убедительный рост величины коэффициента структурности. Загрязнение цинком практически не влияет на результаты сухого просеивания, но резко увеличивает водоудойчивость агрегатов к разрушающему действию воды.

Ключевые слова: чернозем обыкновенный карбонатный, листовый опад, загрязнение цинком, гуминовый препарат

Eng. *Decomposition of leaf litter in case of zinc contamination of Calcic Chernozem and the effect of the humic solution BIO-Don on this process*

Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Korban V.A., Mikhailova E.A., Pirgulian E.A., Skripnikov P.N., Tagiverdiev S.S., Fedorets D.G., Sherstnev A.K.

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract:

In a model experiment, the decomposition of white poplar leaf litter in the humus-accumulative horizon of Calcic Chernozem was studied. Experimental choice included artificial contamination with a zinc sulfate solution, as well as watering with water with a humic solution. The duration of the experiment is 1 month. After this period, soil and decaying litter were taken. The total content of zinc in the soil was determined by X-ray fluorescence method and the amount of mobile zinc compounds in the acetate-ammonia extract was determined using atomic absorption spectroscopy, as well as the state of structural units by dry and wet sieving. In an aqueous extract from decaying leaf litter, the content of carbon and nitrogen was determined. It was found that watering with water containing a humic solution promotes the acceleration of the decomposition and humification of leaf litter: the concentration of carbon in the extract from the decomposing litter increases, as well as the value of the chromaticity coefficient. The addition of zinc sulfate with irrigation water led to a high degree of soil degradation, and this reduced the rate of decomposition of plant residues. The combined addition of zinc sulfate and the humic solution accelerates the decomposition of plant litter, practically eliminating the negative effect of zinc pollution on this process. When humic fertilization is applied to the soil, there is a significant increase in the percentage of agronomically valuable aggregates and a convincing increase in the value of the structural coefficient. Zinc contamination practically does not affect the results of dry sieving, but it sharply increases the water resistance of the aggregates to the destructive action of water.

Key words: ordinary carbonate chernozem, leaf litter, zinc contamination, humic solution

Введение

Преобразование растительного остатков – многоступенчатый биологический процесс, в ходе которого происходит разложение опада и синтез сложных органических соединений, отличительной чертой которых является их термодинамическая устойчивость [11]. Высвобождающиеся при минерализации растительного опада элементы питания поглощаются растениями, тем самым включаясь в новый виток круговорота. Также в процессе гумификации органических остатков образуются органо-минеральные соединения, способные в таком виде сохранять и накапливать азот, фосфор, серу, многие микроэлементы. В то же время продукты

гумификации растительного опада влияют на физические, химические и биологические свойства почвы. Процессы эти на любой стадии по своей сути являются биологическими, так как протекают при активном участии микроорганизмов. Именно поэтому загрязнение почв химическими соединениями, в том числе тяжелыми металлами, и прежде всего их подвижными соединениями [4], влияет на скорость разложения растительных остатков. Наибольшей чувствительностью к тяжелым металлам отличаются микроскопические грибы, бактерии аммонификаторы и азотобактер, ферменты, контролирующие каталазную, инвертазную и целлюлозолитическую активность [6], т.е. как раз те ферменты и микроорганизмы, которые в первую очередь ответственны за разложение растительных остатков.

Цинковые удобрения, осадки сточных вод и воздушная пыль промышленного происхождения – это основные источники поступления Zn в почву. Как важный компонент клеток, цинк участвует в биохимических процессах и может стать токсичным при избыточном содержании. Накопление цинка в почвах Ростова-на-Дону приходится на урбо – горизонты, что обусловлено его поступлением за счет выбросов лакокрасочного предприятия ОАО Эмпилс, несколько десятков лет и по настоящее время производящего цинковые белила. Цинк является приоритетным загрязнителем исследуемой территории. В районе завода «Эмпилс» коэффициент концентрации загрязняющих компонентов, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновыми значениями (за фон принята почва Персиановской степи, учхоз ДонГАУ) показал превышение цинка в 30,9 раз. Этот факт свидетельствует о промышленном происхождении аккумуляции цинка в почвах Ростова-на-Дону [7].

Цель данного исследования – изучить влияние загрязнения сульфатом цинка и внесения гуминового препарата на свойства чернозёма обыкновенного карбонатного и на разложение растительных остатков в нем.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Заложение модельного эксперимента, включающего варианты с загрязнением сульфатом цинка и внесением гуминового препарата;
2. Изучение влияния соли цинка на почву и разложение растительного опада в ней;
3. Определение структурного состояния почвы по вариантам опыта;

Объекты исследования

В лабораторном модельном эксперименте были использованы:

1. Чернозём обыкновенный карбонатный среднемоощный тяжелосуглинистый на жёлто-бурых лессовидных суглинках. Ботанический

сад ЮФУ, г. Ростов-на-Дону. Отличительная особенность этого подтипа черноземов – повышенное содержание карбонатов в почвенном профиле: почвы вскипают от 10% HCl с поверхности, либо в пределах горизонта А. Второй их характерной чертой является наличие миграционных (карбонатный мицелий, прожилки, выцветы) и сегрегационных (белоглазка) форм карбонатных новообразований в почвенном профиле. Для них также свойственно пониженное содержание гумуса – 4–5 %, и повышенная мощность А+В – до 100 см и выше.

2. Растительный опад (листья) тополя белого (*Populus álba* L.). Ботанический сад ЮФУ, г. Ростов-на-Дону. Это крупные деревья высотой 40–45 м (до 60 м) и диаметром ствола более 1 метра. Крона шатровидная, яйцевидная, яйцевидно-пирамидальная или пирамидальная. Цветет до распускания листьев в марте-апреле, плоды созревают в мае-июне, семена прорастают через сутки после посева. Листья длиной 4–12 см и шириной 2,5–10 см; на удлинённых и порослевых побегах с грубыми зубцами, на коротких побегах — округлые, слегка лопастные или трёх-пятилопастные, с округлыми зубцами. Верхняя сторона старых листьев тёмно-зелёная, блестящая, голая, нижняя — беловатая, войлочная

3. Гуминовый препарат ВЮ-Дон. Его получают методом щелочной экстракции из вермикомпоста, поэтому в его составе кроме физиологически активных гуминовых кислот и фульвокислот (2,24 г/л), обнаружено некоторое количество полезных микроорганизмов преимущественно из р. *Bacillus*, которые могут выполнять затравочную роль при внесении этого препарата в почву [2, 3].

4. В качестве загрязняющего вещества использовали растворимую соль – сульфат цинка. Предпочтение было отдано именно этой соли, так как сульфат-ионы не мешают определять органический углерод, как, например, хлориды. В то же время соль хорошо растворима, достаточно широко используется в садоводстве для обработки деревьев, и, следовательно, может выступать загрязняющим соединением. В выборе металла сыграл роль и тот факт, что почвенный покров Ростова-на-Дону загрязнен цинком [5,13]. Сульфат цинка вносили из расчета 26 ПДК по подвижным формам.

Постановка эксперимента

Для анализа отбирались верхний слой почвы (0–20 см), так как именно здесь наиболее активно идут процессы разложения растительных остатков, именно верхние горизонты играют роль геохимического барьера на пути потока веществ, поступающих из атмосферы, и именно здесь накапливаются биогенные элементы и гумус в наибольшем количестве.

Опыт проводился в пластиковых контейнерах, каждый из которых был заполнен 800 г почвы и 4 г растительного опада (0,5 % от объёма

исследуемой почвы). Предварительно просушив почву и очистив от включений, в контейнер засыпали 400 г почвы, затем поместили капроновый мешочек с опадом, и засыпали оставшимися 400 г почвы.

Далее был произведен полив дистиллированной водой из расчета 60 % НПВ, и дистиллированной водой с добавлением гуминового препарата (из расчета 5 л на га, что в пересчете на массу почвы в контейнере составило 0,004 мл препарата). На вариантах с загрязнением вносили по 610 мг $ZnSO_4$, что примерно соответствовало уровню загрязнения 26 ПДК по подвижным формам цинка. Повторность эксперимента 3 кратная.

Таблица 1 – Схема модельного опыта

№	Вариант	Добавки
1	Контроль	полив водой
2	Контроль + опад	полив водой
3	Контроль + опад + Zn	Полив раствором $ZnSO_4$
4	Контроль + опад + ВЮ-Дон	полив вода + ВЮ-Дон
5	Контроль + опад + Zn + ВЮ-Дон	полив (ВЮ-Дон + раствор $ZnSO_4$)

Методы исследования

Определение тяжелых металлов в почве проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «Спектроскан МАКС-GV». Метод основан на сборе и последующем анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением. Анализ полученных результатов провели с использованием расчетных методов [10]. Для этого вычисляли ряд коэффициентов:

1. Коэффициент опасности: $K_o = C \div ПДК$

2. Коэффициент техногенной концентрации или аномальности:

$$K_c = C_i \div C_{fi},$$

где C_i – фактическое содержание i -го элемента в пробе, мг/кг;

C_{fi} – фоновое содержание i -го элемента, мг/кг.

3. Суммарный показатель загрязнения (СПЗ, или Z_c): $Z_c = \sum K_{ci} - (n-1)$,

где n – количество загрязняющих веществ. Оценку степени загрязнения проводили по Ю.Е. Саету, А.П. Сизову [14] с учетом целевого назначения территории. К ландшафтно-рекреационным территориям, к каковым относится Ботанический сад, требования более строгие.

Также определяли подвижные соединения цинка в ацетатно-аммиачной вытяжке на атомно-адсорбционном спектрометре.

Определение содержания углерода и азота в вытяжке из полуразложившегося опада листьев вели методом высокотемпературного каталитического сжигания на анализаторе TOC-L CPN Shimadzu.

Структурное состояние почвы определяли методом сухого и мокрого просеивания Н.И. Савинова.

Результаты и обсуждение

Спустя месяц с начала эксперимента, отобрали образцы почвы и опада для анализов. На рис. 1 можно видеть внешние изменения состояния почвы. Если на вариантах 1, 2 и 4 изменения минимальные, то на загрязнённой солью цинка почве виден белый налёт. Этот налёт, вероятно, является следствием выпадающего в осадок после испарения влаги сульфата цинка.

				
1. Почва + полив водой (Контроль)	2. Почва + опад + полив водой	3. Почва + опад + полив раствором ZnSO ₄	4. Почва + опад + ВЮДон	5. Почва + опад + полив раствором ZnSO ₄ + ВЮДон

Рис. 1 – Внешний вид модельного эксперимента с загрязнением чернозема обыкновенного карбонатного раствором сульфата цинка

Определение содержания цинка показало, что внесение водорастворимой соли цинка из расчета 26 ПДК (по подвижной форме), привело к загрязнению почвы цинком, но при этом произошел его переход из водорастворимого состояния в связанную форму (табл.1). Анализ показал, что превышение ПДК в вариантах с загрязнением по подвижной форме было не больше чем в 4 раза. Совместное внесение с гуминовым препаратом способствовало снижению подвижности металла, но незначительно. В то же время по валовому содержанию превышение ПДК было гораздо более значимым.

Таблица 1 – Оценка загрязнения цинком почвы модельного эксперимента по вариантам опыта

Вариант	Содержание цинка, мг/кг			подвижные формы	Ко
	валовое		Ко		
	мг/кг	Кс		Ко	
Почва + полив водой	107,58	1,66	1,08	38,66	1,68
Почва + опад + полив раствором ZnSO ₄	993,21	15,28	9,93	90,20	3,92
Почва + опад + полив раствором ZnSO ₄ + ВЮДон	1233,79	18,98	12,34	73,04	3,18
ПДК	100			23	

Определение основных металлов-загрязнителей (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, и As) и расчет суммарного показателя загрязнения (Zc) показал, что начальный уровень загрязнения почвы, отобранной в Ботаническом саду, характеризовался как средний (Zc=6,4). На вариантах с внесением цинка загрязнение было сильным (Zc=19,7 и 22,8), причем именно за счет цинка.

На рис. 2 достаточно четко видно, что загрязнение солью цинка замедляет скорость разложения листового опада. В варианте 1, где полив производился дистиллированной водой без всяких добавок, цвет листьев темнее, чем на всех остальных вариантах, а нарушения целостности листьев заметнее.



Рис. 2 – Внешний вид растительного опада через месяц с начала эксперимента

И действительно состав водной вытяжки из опада показал, что содержание органического углерода в 1,23 раза ниже в варианте 3, загрязненном солью цинка, чем в экстракте из листьев, компостировавшихся в незагрязненной почве (табл.2). Это говорит о том, что разложение растительного опада в загрязненной почве протекает медленнее, чем в незагрязненной.

Таблица 2 – Содержание углерода и азота в экстракте из листьев, разлагающихся в черноземе обыкновенном при загрязнении цинком (по вариантам опыта с гуминовым препаратом)

№	Вариант	ppm				C/N	C4:C6
		ТС	IC	N	C		
1	Контроль: почва+вода	-	-	-	-	-	-
2	Контроль + опад	337,138	54,96	13,03	282,17	21,7	3,26
3	Контроль + опад + Zn	267,138	38,38	13,55	228,76	16,9	4,04
4	Контроль + опад + ВЮ-Дон	339,938	44,06	12,50	295,87	23,5	2,61
5	Контроль + опад + Zn + ВЮ-Дон	344,138	52,76	13,94	291,37	20,9	3,85

Примечание: ТС – общий углерод; IC – неорганический углерод; TN – общий азот; C – органический углерод; C/N – отношение органического углерода к азоту; C4:C6 – коэффициент цветности, показывающий отношение оптических плотностей раствора ГК, измеренное при двух длинах волн 465 и 650 нм.

Содержание общего азота в экстракте листьев из загрязненной почвы в 1,04 раза превышает содержание общего азота из экстракта листьев, разлагавшихся в загрязненной почве. Это также свидетельствует о более высокой биологической активности в почве, незагрязненной цинком: снижение содержания этого элемента обусловлено потреблением его микроорганизмами. Отношение C/N, более широкое в экстракте листьев из незагрязнённой почвы, так как одновременное накопление Сорг, и уменьшение в органическом веществе азота приводит к расширению этого показателя на данной стадии разложения листьев.

Внесение ВЮ-Дона способствует ускорению процессов разложения и гумификации опада из листьев тополя. Об этом свидетельствует тот факт, что в листьях из 4 варианта, где почву поливали водой с добавлением гуминового препарата, содержание органического углерода в 1,05 раза

больше, чем на контроле (вариант 2) и заметно больше, чем на варианте с загрязненной почвой (в 1,29 раза). Содержание азота в этом варианте еще ниже, что свидетельствует о высокой микробиологической активности.

Добавление гуминового препарата в поливную воду для варианта 5 (загрязненная цинком почва) привело к тому, что негативный эффект подавления процессов разложения опада полностью нивелировался. Наблюдается даже увеличение количества азота в экстракте водорастворимых гуминовых соединений.

Был также определен коэффициент цветности – отношение оптических плотностей в спектрах растворов гумусовых веществ при двух длинах волн — 465 и 650 нм, сокращенно обозначаемый как $E_4 : E_6$. Этот показатель в экстракте из опада, разлагавшегося в незагрязненной почве, в 1,2 раза меньше, в сравнении с экстрактом листьев из загрязнённой солью цинка почвы. Чем шире отношение оптических плотностей $E_4 : E_6$, тем больше в молекулах гуминовых кислот участие боковых радикалов [12]. И наоборот: чем уже это отношение, тем больше в структуре гуминовых кислот ароматических компонентов. Это значит, что процессы гумификации в почве загрязненной цинком, протекают значительно медленнее.

Самое узкое отношение $C_4:C_6$ отмечено на варианте 4 – опад из незагрязненной почвы с поливом раствором гуминового препарата. Следовательно, гуминовый препарат способствует не только ускорению процессов разложения листьев в почве, но и оптимизирует состав образующихся гуминовых веществ в сторону более устойчивых к разложению, так как в них выше участие ароматических структур, т.е. сдвигает процесс в сторону гумификации.

Результаты сухого и мокрого просеивания показали, что внесение ВЮ-Дона улучшает состояние структуры – увеличиваются и коэффициент структурности и коэффициент водоустойчивости (рис.3). Это согласуется с литературными данными [1, 8, 9]. В то же время интерес вызвал тот факт, что внесение сульфата цинка также способствовало росту коэффициентов структурности и водоустойчивости. Причем на водоустойчивость структурных отдельностей сульфат цинка влиял даже в большей степени, чем гуминовый препарат.

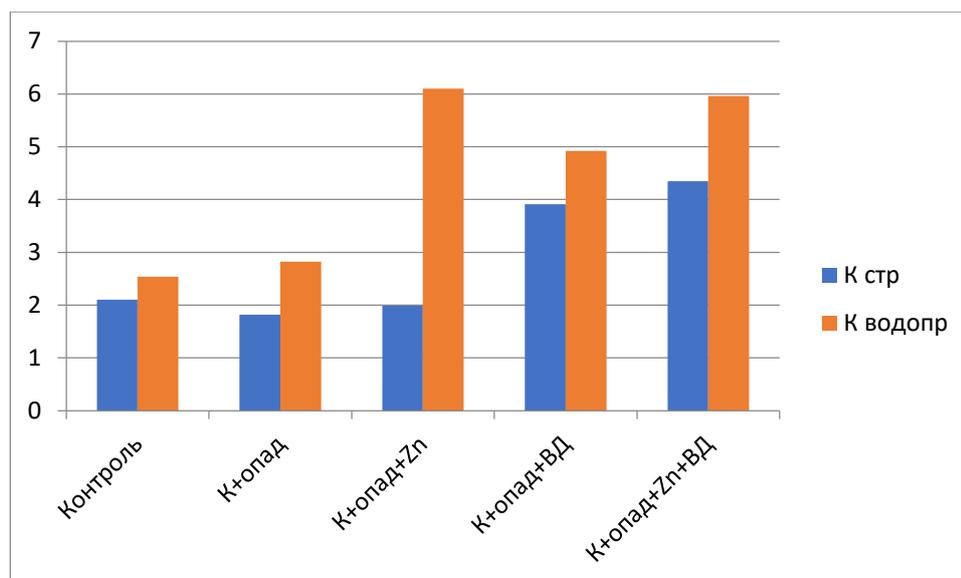


Рис. 3 – Влияние загрязнения сульфатом цинка и внесения гуминового препарата в чернозем обыкновенный карбонатный на величину коэффициентов структурности и водоустойчивости

Возможно, это обусловлено влиянием цинка на водоудерживающую способность почвы, ее гидрофильно-гидрофобные свойства [15]. В модельном эксперименте [16] было показано, что при загрязнении солями цинка возрастает гидрофильность чернозема обыкновенного, растет и пластичность почвы. Повышение гидрофильности почвы при загрязнении в модельных условиях эксперимента подтверждается также результатами определения пластических свойств, которые в условиях загрязнения цинком растут.

Выводы

1. Внесение гуминового препарата ВЮДон способствует ускорению процессов разложения и гумификации опада из листьев. Об этом свидетельствует увеличение концентрации углерода в вытяжке из разлагающегося опада, а также величина коэффициента цветности.
2. Оценка химической деградации по коэффициенту техногенной концентрации показала, что полив водой с солью цинка привел к высокой степени деградации почвы, и это снизило скорость разложения растительных остатков. В водной вытяжке из разлагающегося опада содержание углерода в варианте с цинком ниже, чем на контроле, а величина коэффициента цветности наибольшая, что говорит о большем участии алифатических структур в составе новообразованных гумусовых веществ.

3. Внесение в загрязненную почву гуминового препарата ускоряет процесс разложения растительного опада, практически снимая негативное влияние на этот процесс цинкового загрязнения.

4. При внесении гуминового удобрения в почву происходит значительное увеличение доли агрономически ценных агрегатов и убедительный рост величины коэффициента структурности.

5. Загрязнение цинком практически не влияет на результаты сухого просеивания, но резко увеличивает водоудойчивость агрегатов к разрушающему действию воды.

Список литературы

1. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горовцов А.В., Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозема южного под различными культурами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, том 17, №6, 2015. С.164—168.

http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_6_164_168.pdf

2. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горовцов А.В., Лыхман В.А. Применение гуминового удобрения ВЮ-Дон на черноземе обыкновенном под озимую пшеницу // Теоретическая и прикладная экология, 2015. № 1. — С. 89-95.

3. Безуглова О. С., Полиенко Е. А., Горовцов А. В., Лыхман В. А., Павлов П. Д. Влияние на почвенное плодородие гуминовых удобрений и препаратов // «Живые и биокосные системы». — 2016. — № 18; URL:

<http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-1>

4. Водяницкий Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение, 2013. №. 7. — С. 872-872.

5. Горбов С. Н. Почвы урболандшафтов г. Ростов н/Д, их экологическое состояние и оценка загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2002. 25 с.

6. Забелина О. Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира): дис. ... к.б.н. Владимир, 2014. — 146 с.

7. Капралова О. А. и др. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства почв г. Ростова-на-Дону // Научная мысль Кавказа, 2012. № 1. — 2-5 с.

8. Лыхман В.А., Безуглова О.С., Горовцов А.В., Полиенко Е.А. Влияние гуминовых препаратов на структурное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 2. С. 16—20.

9. Лыхман В.А., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Дубинина М.Н., Поволоцкая Ю.С. Эффективность гуминового препарата как структурообразователя при выращивании озимой пшеницы в Ростовской области // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019. № 4 (78). С. 54-58.
10. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус – Академический проект, 2007. – 237 с.
11. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М., 1990. 325 с.
12. Орлов Д.С. Химия почв. Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1985. – 386 с.
13. Приваленко В. В. Геохимическая оценка экологической ситуации в Ростов н/Д. Ростов н/Д: МПП Геоинформ, 1993. 167 с.
14. Сизов А. П. Мониторинг городских земель с элементами их охраны: учеб. пособие для студентов. М., 2000. 156 с.
15. Manucharov A.S., Kharitonova G.V., Chernomorchenko I.I., Zemlyanukhin V.N. Effect of adsorbed zinc and lead cations on the surface properties of minerals and water vapor sorption. Eur Soil Sci, 2001. 34: 615–620
16. Minkina T.M., Pinskiy D.L., Zamulina I.V., Nevidomskaya D.G., Coşkun Gülser, Mandzhieva S.S., Bauer T.V., Morozov I.V., Sushkova S. N., Ridvan Kizilkaya. Chemical contamination in upper horizon of Haplic Chernozem as a transformation factor of its physicochemical properties // Journal Soils Sediments, 2018. V.18 (6) :2418-2430. DOI 10.1007/s11368-017-1713-5

Spisok literatury

1. Bezuglova O.S., Lyhman V.A., Gorovcov A.V., Vliyanie guminovogo udobreniya na strukturu i mikrobiologicheskuyu aktivnost' chernozema yuzhnogo pod razlichnymi kul'turami // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, tom 17, №6, 2015. S.164—168.
http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_6_164_168.pdf
2. Bezuglova O.S., Polienko E.A., Gorovcov A.V., Lyhman V.A. Primenenie guminovogo udobreniya BIO-Don na chernozeme obyknovennom pod ozimuyu pshenicu // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya, 2015. № 1. – S. 89-95.
3. Bezuglova O. S., Polienko E. A., Gorovcov A. V., Lyhman V. A., Pavlov P. D. Vliyanie na pochvennoe plodorodie guminovyh udobrenij i preparatov // «ZHivye i biokosnye sistemy». – 2016. – № 18; URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-18/article-1>
4. Vodyanickij YU. N. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i metalloidami i ih ekologicheskaya opasnost' (analiticheskij obzor) // Pochvovedenie, 2013. №. 7. – S. 872-872.

5. Gorbov S. N. Pochvy urbolandshaftov g. Rostov n/D, ih ekologicheskoe sostoyanie i ocenka zagryazneniya: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Rostov-na-Donu, 2002. 25 s.
6. Zabelina O. N. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya pochvy gorodskih rekreacionnyh territorij na osnovanii pokazatelej biologicheskoy aktivnosti (na primere g. Vladimira): dis. ... k.b.n. Vladimir, 2014. – 146 s.
7. Kapralova O. A. i dr. Vliyanie zagryazneniya tyazhelymi metallami na ekologo-biologicheskie svoystva pochv g. Rostova-na-Donu // Nauchnaya mysl' Kavkaza, 2012. № 1. – 2-5 s.
8. Lyhman V.A., Bezuglova O.S., Gorovcov A.V., Polienko E.A. Vliyanie guminovyh preparatov na strukturnoe sostoyanie i biologicheskuyu aktivnost' chernozema obyknovennogo karbonatnogo / // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. T. 30. № 2. S. 16—20.
9. Lyhman V.A., Bezuglova O.S., Polienko E.A., Dubinina M.N., Povolockaya YU.S. Effektivnost' guminovogo preparata kak strukturoobrazovatelya pri vyrashchivanii ozimoy pshenicy v Rostovskoj oblasti // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 2019. № 4 (78). S. 54-58.
10. Motuzova G. V., Bezuglova O. S. Ekologicheskij monitoring pochv. M.: Gaudeamus – Akademicheskij proekt, 2007. – 237 s.
11. Orlov D.S. Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikacii. M., 1990. 325 s.
12. Orlov D.S. Himiya pochv. Uchebnik. M.: Izd-vo MGU, 1985. – 386 s.
13. Privalenko V. V. Geohimicheskaya ocenka ekologicheskoy situacii v Rostov n/D. Rostov n/D: MGP Geoinform, 1993. 167 s.
14. Sizov A. P. Monitoring gorodskih zemel' s elementami ih ohrany: ucheb. posobie dlya studentov. M., 2000. 156 s.
15. Manucharov A.S., Kharitonova G.V., Chernomorchenko I.I., Zemlyanukhin V.N. Effect of adsorbed zinc and lead cations on the surface properties of minerals and water vapor sorption. Eur Soil Sci, 2001. 34: 615–620
16. Minkina T.M., Pinskiy D.L., Zamulina I.V., Nevidomskaya D.G., Coşkun Gülser, Mandzhieva S.S., Bauer T.V., Morozov I.V., Sushkova S. N., Ridvan Kizilkaya. Chemical contamination in upper horizon of Haplic Chernozem as a transformation factor of its physicochemical properties // Journal Soils Sediments, 2018. V.18 (6) :2418-2430. DOI 10.1007/s11368-017-1713-5