

УДК631.416.9:628.473.2

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В КОМПОСТЕ ИЗ ОПАДА И ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

Вельченкова Л.Д.¹, Карташова А.В.¹, Самарская М.А.¹, Шишкарёва Е.С.¹, Безуглова О.С.¹

¹*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

DOI: 10.18522/2308-9709-2022-40-2

Аннотация

Исследовался компост, состоящий из листового опада и растительных пищевых отходов, с добавлением чернозёма обыкновенного карбонатного. Листовой опад и почва отбирались на территории Ботанического сада ЮФУ г. Ростова-на-Дону. Схема опыта включила три варианта: контроль и два варианта с добавлением в воду гуминового препарата ВЮ-Дон10 в концентрациях 0,008% и 0,016%.

Установлено, что загрязнение компоста тяжелыми металлами отсутствует. Превышение фоновых значений содержания в почве таких биогенных элементов, как марганец и цинк свидетельствует о ценности компоста как источника этих важных в жизни растений и микроорганизмов микроэлементов. По мере созревания компоста наблюдается заметное уменьшение концентрации биогенных элементов – кальция и фосфора. Способствует снижению этих элементов и добавление в поливную воду гуминового препарата ВЮ-Дон10 в дозе 0,008%. Косвенно это свидетельствует о росте биологической активности компоста при добавлении гуминового препарата в указанной концентрации, следовательно эта концентрация гумата является оптимальной.

Ключевые слова: тяжелые металлы, гумат, компостирование, листовый опад, почва, гуминовые кислоты.

HEAVY METALS IN COMPOST FROM LEAF LITTER AND FOOD WASTE

Velchenkova L.D.¹, Kartashova A.V.¹, Samarskaya M.A.¹, Shishkareva E.S.¹

¹*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

Annotation

Compost was studied, consisting of leaf litter and vegetable food waste, with the addition of ordinary carbonate chernozem. Leaf litter and soil were sampled on the territory of the Botanical Garden of the SFU in Rostov-on-Don. The scheme of the experiment included three options:

control and two options with the addition of the humic preparation BIO-Don10 to the water at concentrations of 0.008% and 0.016%.

It has been established that there is no contamination of the compost with heavy metals. The excess of the background values of the content in the soil of such biogenic elements as manganese and zinc, on the contrary, indicates the value of compost as a source of these microelements important in the life of plants and microorganisms. As the compost matures, a noticeable decrease in the concentration of nutrients - calcium and phosphorus - is observed. Contributes to the reduction of these elements and the addition of humic preparation BIO-Don10 to irrigation water at a dose of 0.008%. Indirectly, this indicates an increase in the biological activity of the compost when a humic preparation is added at such a concentration; therefore, this concentration of humate is optimal.

Key words: heavy metals, humate, composting, leaf litter, soil, humic acids.

Введение

В категории тяжелых металлов числится более 40 элементов периодической системы. Все тяжелые металлы (исключение составляют свинец, ртуть, кадмий и висмут) имеют большое значение для биологических процессов в организмах, так как входят в основную массу ферментов. Определяющим критерием является содержание того или иного металла в организме и окружающей среде, поскольку как избыток, так и недостаток металла приводят к различным негативным отклонениям от нормального состояния организма (Давыдова и др., 2014).

Города становятся центрами сосредоточения промышленных предприятий. Такие глобальные проблемы природопользования, как загрязнение окружающей среды, в том числе тяжелыми металлами, на урбанизированных территориях наблюдаются чаще и в больших масштабах (Касимов и др., 2016). Ростов-на-Дону также не является исключением. Городские почвы по сравнению с региональным педогеохимическим фоном обогащены цинком, свинцом, кадмием, медью, мышьяком, ртутью (Шишкина, 2017). Для дерновых горизонтов лесопарков зафиксировано

загрязнение ТМ: $Z_c = 4,72 \pm 0,27$. Для поверхностных горизонтов урбостратоземов этот показатель еще выше: $Z_c = 5,16 \pm 0,33$ (Горбов, Безуглова, 2020). И если для селитебных территорий такой уровень загрязнения оценивается как допустимый, то для ландшафтно-рекреационных мест, к каковым относятся парки и зеленые массивы вокруг города, это уже умеренно опасный уровень (Сизов, 2000).

В силу этого интересен вопрос о возможности использования листового опада городских садов и парков для получения органических компостов. Компостирование может быть использовано для снижения уровня химических загрязняющих веществ в остатках или в почвах, к которым были добавлены загрязненные остатки (Barker и Bryson, 2002). Процессы трансформации органических остатков в компосте биологически аналогичны тем, которые происходят в почве. Однако компостирование может ускорить разрушение загрязняющих веществ или снизить их биодоступность (Barker и Bryson, 2002). Технология внесения природных органических соединений, таких как разложившиеся листья, навоз, торф, мох сфагнум и речной ил, как мелиоранта в антропогенно загрязненные почвы относительно проста, универсальна и перспективна, но может быть недостаточна для обеспечения необходимого уровня детоксикации (Bezuglova, Shestopalov, 2005). При компостировании органических отходов металлы аккумулируются в компостах. В последних содержится большое количество микроорганизмов, которые, с одной стороны, способствуют снижению концентрации тяжелых металлов вследствие выделения хелаторов и образованию малорастворимых соединений металлов, а также сорбции тяжелых металлов на стенках клеток микроорганизмов, а с другой — их деятельность является причиной вторичного загрязнения почвы металлами в результате перевода нерастворимых форм металлов в растворимые, а также освобождения сорбированных металлов после гибели микроорганизмов.

Следовательно, факторы, регулирующие активность микроорганизмов и обеспечивающие накопление гумусовых веществ в готовом компосте, а затем и в почве, влияют на снижение доступности тяжелых металлов для растений и соответственно уменьшение их содержания в биомассе (Шиббаева, 2006).

Гуминовые препараты в данной ситуации проявляют свою протекторную функцию, связывая тяжелые металлы в нерастворимые малоподвижные комплексы, тем самым снижая их биодоступность (Орлов и др., 1990).

Актуальность данного исследования обусловлена тем, что лиственной опад сгребался на территории Ботанического сада, находящегося среди городских кварталов крупного промышленного центра – Ростова-на-Дону.

Цель работы – определить уровень содержания ТМ в компосте из листового опада и влияние на этот показатель гуминового препарата.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в Ростовской области на территории Ботанического сада ЮФУ. Объектом исследования служил компост, состоящий из сухого листового опада, пищевых отходов растительного происхождения и почвы (верхний аккумулятивный горизонт чернозёма обыкновенного карбонатного).

Заложение эксперимента проводилось в октябре. Отбор проб производился спустя 7 и 8 месяцев – в апреле и мае. Каждый вариант опыта отобран в трехкратной повторности. При заполнении контейнера соблюдалась послойная укладка: лиственной опад – пищевые отходы – почва, повторение.

Эксперимент по получению компоста из городских органических отходов проводили по следующей схеме (табл. 1).

Таблица 1 – Схема опыта

Вариант	Состав органических отходов	Вода, л	Гумат (ВЮ-Дон10), мл
Контроль	Листья, пищевые отходы растительного происхождения	15	0
Контроль+Гумат1			50
Контроль+Гумат2			100

Для проведения эксперимента был сооружен трехметровый деревянный ящик с секциями для трёх вариаций опыта. В два из трёх отсеков был добавлен гуминовый препарат ВЮ-Дон в разной концентрации, один отсек стал контрольным. Все три секции увлажнялись по мере необходимости: контрольный вариант – обычной водопроводной водой, второй и третий варианты – водой с добавлением гуминового препарата. Проливание компоста водой совершалось один раз в неделю с наступлением температуры выше 10 °С (при условии сухой погоды), в связи с тем, что микробиологические процессы активизируются только при этой температуре. Внесение гуматов с поливной водой производили один раз в две недели.

ВЮ-Дон10 – препарат, получаемый методом щелочной экстракции вермикомпоста, получаемого путем переработки навоза калифорнийским червем. Основной действующий компонент – гуминовые кислоты и фульвокислоты, общее их содержание составляет в препарате 2,24 г/л. Препарат разбавляют до оптимальной концентрации по углероду (0,001 %) и производят обработку почвы или растений. В компост концентрация может быть увеличена в несколько раз. В нашем эксперименте использовались концентрации 0,008 и 0,015%.

Почва в компост закладывается в виде прослойки между слоями органических остатков в качестве источника «аборигенных» микроорганизмов. Пищевые отходы (овощные и фруктовые очистки) являются источником растительного белка для микроорганизмов, которые являются питательной средой для грибов и бактерий.

В ходе компостирования отбирались пробы полуразложившегося растительного материала, в них были определены подвижные формы и валовое содержание ТМ.

Определение подвижных форм тяжелых металлов проводилось методом, основанным на экстрагировании металлов ацетатно-аммонийным буфером и дальнейшем определении подвижных форм тяжелых металлов на атомно-адсорбционном спектрометре. Анализ проводился в воздушно-сухой почве, перетертой и просеянной через сито с диаметром отверстий 1 мм – общая подготовка. Масса навески 3 г. В качестве экстрагента был использован ацетатно-аммонийный буфер с $pH=4,8$. Этот экстрагент принят агрохимической службой для извлечения доступных растениям микроэлементов и служит для оценки обеспеченности почв этими элементами.

Отношение почвы к раствору 1 : 10, время воздействия 1 ч при взбалтывании на ротаторе или настаивании в течение суток. Метод предложен Н. К. Крупским и А. М. Александровой (1964) и пригоден для некарбонатных и карбонатных почв. Определение подвижных форм тяжелых металлов проводилось на атомно-адсорбционном спектрометре МГА- 915.

Определение валового содержания тяжелых металлов проводилось рентгенфлуоресцентным методом на спектроскане МАКС-GV. Для анализа компост подвергался высушиванию и прессованию в таблетки.

Результаты исследования и их обсуждение

Валовое содержание химических элементов в компосте

При необходимости контроля за техногенным загрязнением почв ТМ, принято определять валовое содержание металла. Определение содержания макроэлементов в компосте по срокам отбора приведено в таблице 2.

Таблица 2 – Валовое содержание химических элементов в компосте, %

Варианты	сроки отбора	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
Контроль	1 отбор	52,08	9,50	3,60	0,63	4,11	1,36	2,19	0,44
	2 отбор	60,15	10,73	3,98	0,71	2,51	1,43	2,16	0,29
50 мл ВЮ-Дона	1 отбор	46,05	7,08	3,03	0,52	4,91	1,22	2,20	0,57
	2 отбор	62,31	11,33	4,11	0,75	2,24	1,44	2,21	0,21
100 мл ВЮ-Дона	1 отбор	59,55	10,06	4,10	0,67	3,24	1,35	2,11	0,31
	2 отбор	62,04	11,23	4,04	0,73	1,94	1,45	2,16	0,21

Результаты свидетельствуют, что содержание таких конституционных макроэлементов, как кремний, алюминий, титан, по мере созревания компоста увеличивается. Растет и процент магния, хотя и в заметно меньшей степени. В то же время для элементов, играющих важную роль в метаболизме микроорганизмов (кальций и особенно фосфор), с течением времени наблюдается заметное уменьшение концентрации. Причем добавление гуминового препарата эту закономерность делает более явной. Например, содержание фосфора на контроле снижается за месяц активного созревания компоста (апрель – май) в 1,5 раза, в то же время на варианте с одинарной дозой гуминового препарата содержание фосфора снизилось почти в три раза (в 2,7 раза). Однако увеличение дозы гуминового препарата в поливной воде эту тенденцию затормозило: снижение было практически таким же, как на контроле – в 1,5 раза. Эти факты свидетельствуют, что гуминовый препарат активизирует деятельность микроорганизмов и это усиливает потребление фосфора.

На содержание магния и калия ни фактор времени, ни введение в среду биологически активного препарата ВЮ-Дон10 практически не повлияли.

Динамика микроэлементов по вариантам эксперимента представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Валовое содержание в компосте микроэлементов 1 и 2 группы токсичности, мг/кг

Варианты	сроки отбора	Cr*	Co*	Ni	Cu	Zn	As	Pb	V	Mn
Контроль	1 отбор	95,67	3,44	41,28	16,82	83,48	7,48	20,34	77,03	725,10
	2 отбор	106,09	10,35	43,74	20,21	78,75	7,84	22,54	76,41	728,42
50 мл ВЮ-Дона	1 отбор	98,20	8,62	34,67	21,69	94,07	5,91	17,71	56,94	626,49
	2 отбор	113,63	11,49	44,03	26,56	79,26	5,58	27,11	87,60	723,60
100 мл ВЮ-Дона	1 отбор	97,80	6,12	44,08	22,39	84,01	6,67	23,81	75,97	718,54
	2 отбор	100,67	7,28	44,54	21,18	76,14	6,05	28,82	89,73	715,02
ПДК		100	50	85	55	100	10	32	150	1500
Фон****		100	8	45	30	65	8	20	67	550***** *

Примечание: *В России нормативы ПДК хрома и кобальта в почвах не разработаны, здесь приведены ПДК для почв приусадебных участков в Германии (Eikmann, Kloke, 1991).

Для оценки использовали ПДК, разработанные для почв, так как компост предназначался для внесения в почву с удобрительными целями. В качестве фоновых концентраций металлов также использованы значения, установленные для почв Ростовской области (Акимцев, 1962) и Ростова-на-Дону (Приваленко, Безуглова, 2003). Приведенные в таблице 3 результаты показывают, что превышение ПДК обнаружено только по одному элементу – хром, причем только во втором сроке отбора. Вероятно, загрязнение произошло за этот месяц, возможно, был привнос с поливной водой.

Данные рентгенофлуоресцентного анализа валового содержания тяжелых металлов в исследуемом компосте показывают превышение фоновых содержаний металлов по ванадию, хром, марганцу, кобальту, цинку и свинцу.

Цинк и свинец относятся к первому классу опасности химических веществ и их содержание в компосте значительно превышает фоновые значения. На рисунке 1 отчетливо видно, что содержание именно этих двух

металлов находится в опасной близости к пределам ПДК. А рисунок 2 показывает, что фоновые значения превышены по всем металлам, кроме никеля, меди и мышьяка.

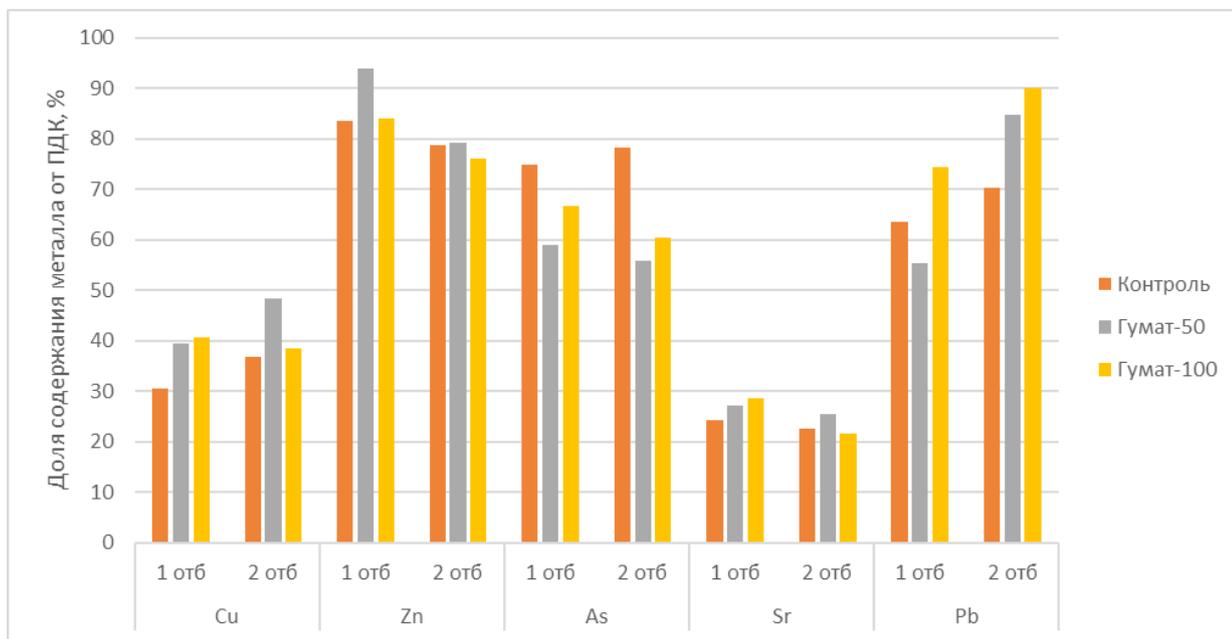


Рис. 1 – Доля общего содержания металлов (Cu, Zn, As, Sr, Pb) от их ПДК, %

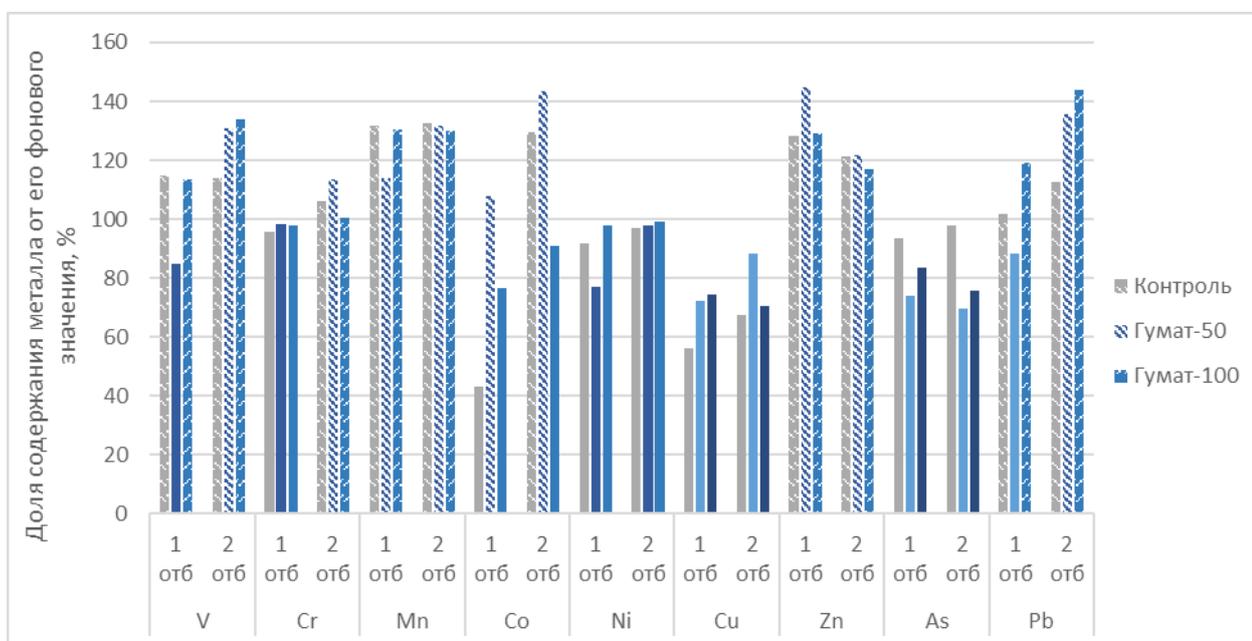


Рис. 2 – Доля содержания металла от его фоновых значений, %

В основном при внесении доз гумата 50 и 100 мл валовое содержание металлов увеличивается.

Таким образом, фоновые значения превышены по ванадию, марганцу и цинку во всех образцах. Однако если содержания ванадия и марганца за месяц активного созревания компоста увеличилось, то содержание цинка уменьшилось в 1,06 на контроле, в 1,18 на варианте с 50 мл гумата и в 1,1 раз на варианте со 100 мл препарата. Так как цинк является очень важным микроэлементом в жизнедеятельности микроорганизмов, входящим в состав 7200 ферментов (например, ферментов, выполняющих в живых системах защитные функции – супероксиддисмутаза, содержащих медь и цинк) (Преснякова и др., 2019), то можно предположить, что он также активно потребляется в ходе разложения и гумификации компоста. В митохондриях и во многих бактериях содержатся также марганецсодержащие ферменты, выполняющие ту же функцию.

Таким образом определение валовых форм элементов показало, что загрязнение компоста отсутствует. Превышение фоновых значений содержания в почве таких биогенных элементов, как марганец и цинк, наоборот свидетельствует о ценности компоста как источника этих важных в жизни растений и микроорганизмов микроэлементов.

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в компосте

В ходе эксперимента были определены подвижные формы двух металлов – меди и свинца, которые относятся ко 2 и 1 классу опасности соответственно, и превышение ПДК подвижных форм этих элементов может в значительной степени снизить биологическую ценность компоста. Однако исследования показали, что во всех вариантах получения компоста ПДК по подвижным формам этих металлов не превышено.

Исходя из полученных данных в ходе исследования компостной смеси (табл. 4), можно говорить о тенденции к увеличению содержания подвижных форм меди и свинца по мере увеличения концентрации внесенного гумата в дозировке 100 мл, а на варианте с дозировкой 50 мл происходит, наоборот, уменьшение содержания металлов в компосте. Однако статистически

разница с контролем недостоверна, так как фактические значения критерия Стьюдента меньше табличных значений. Поэтому говорить об этих фактах, можно только на уровне тенденции. Графическое отображение полученных результатов, представленное на рис. 3 и 4, также подтверждает статистическую недостоверность полученных различий.

Таблица 4 – Среднее содержание подвижных форм меди и свинца в компосте, мг/кг

Вариант	1 отбор				2 отбор			
	Cu	td	Pb	td	Cu	td	Pb	td
Контроль	0,23±0,09	-	0,09±0,01	-	0,23±0,07	-	0,11±0,009	-
Гумат-50	0,15±0,02	0,87	0,09±0,003	0,00	0,15±0,02	1,14	0,09±0,003	1,62
Гумат-100	0,41±0,12	1,88	0,11±0,003	2,13	0,43±0,12	1,45	0,13±0,003	1,62

Стандартное значение критерия Стьюдента $t=2,45$ при $P=0,05$ и $n=6$.

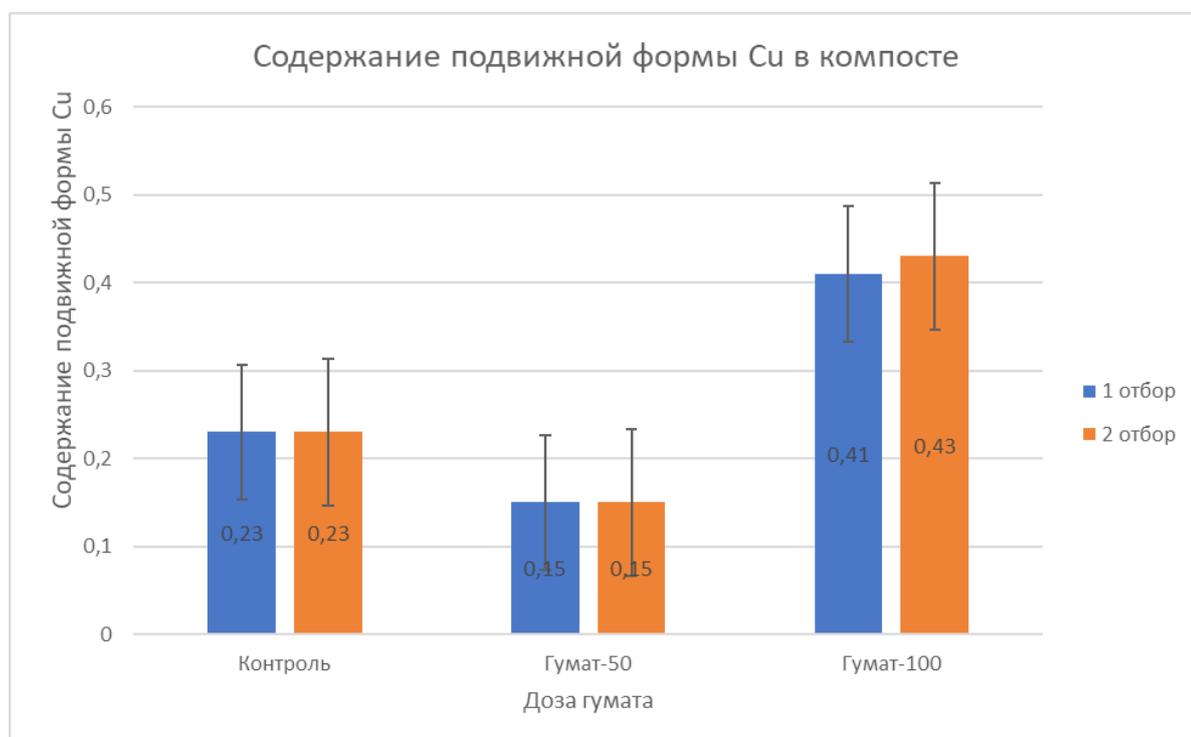


Рис. 3 – Динамика содержания подвижной формы меди по вариантам опыта при получении компоста, мг/кг

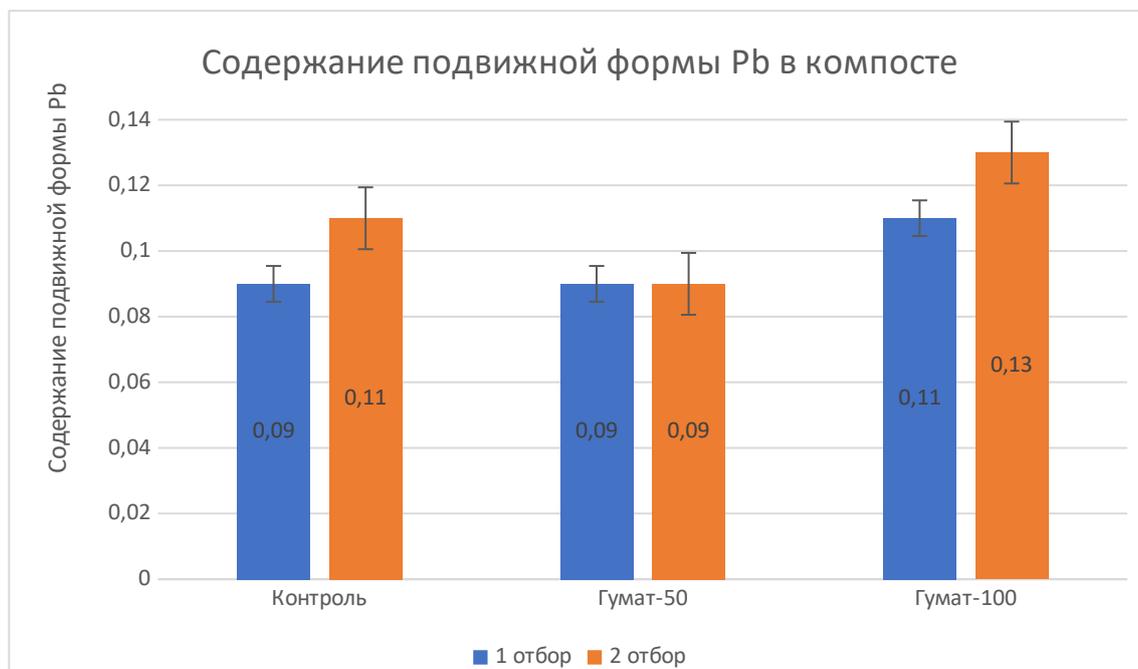


Рис. 4 – Динамика содержания подвижной формы свинца по вариантам опыта при получении компоста, мг/кг

В то же время результаты, представленные на рис. 4, показывают, что содержание свинца в компосте вариантов 1 и 3 во второй срок отбора увеличивается, причем на статистически значимую величину, что свидетельствует о дополнительном поступлении свинца, возможно, с поливной водой или воздушным путем.

В целом, можно констатировать, что в компостах первого отбора содержание Си при внесении гуминового препарата в варианте внесения 50 мл гумата уменьшается на 35% в сравнении с контролем, а в варианте внесения 100 мл гумата увеличивается на 78% в сравнении с контролем.

Опираясь на данные, полученные в первом отборе проб по содержанию Рb в компосте, можно сказать следующее: среднее значение содержания металла в случае внесения 50 мл гумата не изменилось в сравнении с контролем, а среднее значение содержания металла в случае внесения 100 мл гумата увеличивается на 22% в сравнении с контролем.

Полученные средние данные во втором отборе проб так же позволяют говорить о тенденции к увеличению содержания подвижных форм металлов

(Cu и Pb) с ростом концентрации гумата, однако аналогично первому отбору при дозировке гумата в 50 мл происходит уменьшение содержания подвижных форм металлов в компосте.

Увеличение содержания подвижных форм металлов при внесении дозировки 100 мл гуминового препарата свидетельствует об увеличении доступности тяжелых металлов для растений. Для проверки этого положения нами была рассчитана доля подвижной формы металлов от их валового содержания (табл. 5 и 6).

Таблица 5 – Динамика вклада подвижной формы меди в ее валовое количество

Вариант	1 отбор			2 отбор		
	Валовое количество	Подвижная форма	вклад	Валовое количество	Подвижная форма	Вклад
	мг/кг		%	мг/кг		%
1.Контроль	16,82	0,23	1,37	20,21	0,23	1,14
2.Гумат-50	21,69	0,15	0,69	26,56	0,15	0,56
3.Гумат-100	22,39	0,41	1,83	21,18	0,43	2,03

Результаты показали, что гуминовый препарат в дозировке 50 мл препарата снижает подвижность меди в оба срока отбора, что, возможно, обусловлено повышением биологической активности в компосте этого варианта и потреблением доступной формы металла микроорганизмами.

Таблица 6 – Динамика вклада подвижной формы свинца в его валовое количество

Вариант	1 отбор			2 отбор		
	Валовое количество	Подвижная форма	Вклад	Валовое количество	Подвижная форма	Вклад
	мг/кг		%	мг/кг		%
Контроль	0,09	0,09	0,44	22,54	0,11	0,49
Гумат-50	0,13	0,09	0,51	27,11	0,09	0,33

Гумат-100	23,81	0,11	0,46	28,82	0,13	0,45
-----------	-------	------	------	-------	------	------

На варианте с удвоенной дозой гуминового препарата, наоборот, наблюдается рост подвижности, что выражается как в абсолютных значениях, так и в величине вклада в общее количество металла. Причем с течением времени эта тенденция растет. Возможно, это косвенное подтверждение угнетающего действия повышенной концентрации гумата на активность микроорганизмов.

Выводы

1. Определение валовых форм микроэлементов показало, что загрязнение компоста тяжелыми металлами отсутствует. Превышение фоновых значений содержания в почве таких биогенных элементов, как марганец и цинк свидетельствует о ценности компоста как источника этих важных в жизни растений и микроорганизмов микроэлементов.
2. Содержание конституционных макроэлементов (кремний, алюминий, титан) по мере созревания компоста увеличивается. Растет и процент магния, хотя и в заметно меньшей степени. По биогенным элементам – кальцию и фосфору – с течением времени наблюдается заметное уменьшение концентрации.
3. Добавление гуминового препарата ВЮ-Дон10 в поливную воду в дозе 0,008% в значительной степени снижает содержание фосфора: на контроле за месяц активного созревания компоста (апрель – май) содержание фосфора уменьшилось в 1,5 раза, за то же время на варианте с одинарной дозой гуминового препарата содержание фосфора снизилось почти в три раза. Это свидетельствует об активизации микроорганизмов гуминовым препаратом. Двойная доза гуминового препарата этот эффект снижает.

4. Наблюдается тенденция к увеличению содержания подвижных форм меди и свинца по мере увеличения дозы внесенного гумата, что может свидетельствовать о понижении активности микроорганизмов. Оптимальная концентрация гуминового препарата в поливной воде 0,008%. Повышение концентрации в 2 раза увеличивает валовое содержание биогенных элементов и их подвижность.

Список использованных источников

1. Акимцев В. В., Болдырева А. В., Голубев С. Н. и др. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области // Микроэлементы и естественная радиоактивность: материалы 3-го межвуз. совещания. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1962. С. 38–41.
2. Горбов С.Н., Безуглова О.С. Тяжелые металлы и радионуклиды в почвах Ростовской агломерации. Ростов-на-Дону – Таганрог: издательство Южного федерального университета, 2020. 124 с.
3. Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. Влияние физико-химических факторов на содержание тяжелых металлов в водных экосистемах / под науч. ред. Е. С. Климова. Ульяновск : УлГТУ, 2014. 167 с.
4. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. Москва: АПР, 2016. 276 с.
5. Крупский Н.К, Александрова В.М. К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов // Микроэлементы в жизни растений, животных и человека: Сб. науч. тр. — Киев: Наукова думка, 1964. С. 125-133.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М. : Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
7. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве (ПДК) № 3210-85 от 01.02.85.

8. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в почве (ПДК) № 2546 от 30.04.82.
9. Преснякова М.В., Костина О.В., Альбицкая Ж.В. Биологическая роль цинка и его значимость в патогенезе расстройств аутистического спектра // Социальная и клиническая психиатрия, 2019. Т. 29, № 3. С. 63–70.
10. Приваленко В. В., Безуглова О. С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. Экология города Ростова-на-Дону. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 290 с.
11. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. СанПиН 42-128-1433-87, М., 1988.
12. Сизов А. П. Мониторинг городских земель с элементами их охраны: учеб. пособие для студентов. Москва, 2000. 156 с.
13. Шишкина Д.Ю. Тяжелые металлы в почвах Ростова-на-Дону. Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. 98 с.
14. Barker Allen V., Bryson Gretchen M. Bioremediation of Heavy Metals and Organic Toxicants by Composting // The Scientific World Journal, 2002, March, №2. P. 407-420. DOI: 10.1100/tsw.2002.912002
15. Bezuglova O., Shestopalov A. The Use of Humates for the Detoxification of Soils Contaminated with Heavy Metals // In: Perminova I.V., Hatfield K., Hertkorn N. (eds) Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Series), 2005. Vol 52. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3252-8_9
16. Eikmann Th., Kloke A. Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoff in Boden // UDLUFA-Mitteilungen. 1991. H. 1. P. 19-26.

References

1. Akimtsev V. V., Boldyreva A. V., Golubev S. N., et al. The content of microelements in the soils of the Rostov region // Trace elements and natural

- radioactivity: materials of the 3rd interuniversity meetings. Rostov-on-Don: Publishing house Rostov university, 1962. P. 38–41.
2. Barker Allen V., Bryson Gretchen M. Bioremediation of Heavy Metals and Organic Toxicants by Composting // *The Scientific World Journal*, 2002, March, No. 2. R. 407-420. DOI: 10.1100/tsw.2002.912002
 3. Bezuglova O., Shestopalov A. The Use of Humates for the Detoxification of Soils Contaminated with Heavy Metals // In: Perminova I.V., Hatfield K., Hertkorn N. (eds) *Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to practice. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Series)*, 2005. Vol 52. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/1-4020-3252-8_9
 4. Davydova O.A., Klimov E.S., Vaganova E.S., Vaganov A.S. Influence of physical and chemical factors on the content of heavy metals in water ecosystems / under scientific. ed. E. S. Klimova. Ulyanovsk: UIGTU, 2014. 167 p.
 5. Eikmann Th., Kloke A. Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad-)Stoff in Boden // *UDLUFÄ-Mitteilungen*. 1991. H. 1. R. 19-26.
 6. Gorbov S.N., Bezuglova O.S. Heavy metals and radionuclides in the soils of the Rostov agglomeration. Rostov-on-Don - Taganrog: Southern Federal University Press, 2020. 124 p.
 7. Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. *Geochemistry of landscapes of Eastern Moscow*. Moscow: APR, 2016. 276 p.
 8. Krupsky N.K., Aleksandrova V.M. On the issue of determining the mobile forms of microelements // *Microelements in the life of plants, animals and humans: Sat. scientific tr.* Kyiv: Naukova Dumka, 1964. P. 125-133.
 9. Orlov D.S. *Soil humic acids and the general theory of humification*. M.: Publishing House of Moscow State University, 1990. 325 p.
 10. Maximum Permissible Concentrations of Chemical Substances in Soil (MAC) No. 3210-85 dated 01.02.85.
 11. Maximum allowable concentrations of chemicals in soil (MAC) No. 2546 of 04/30/82.
 12. Presnyakova M.V., Kostina O.V., Albitskaya Zh.V. The biological role of zinc and its significance in the pathogenesis of autism spectrum disorders // *Social and Clinical Psychiatry*, 2019. V. 29, No. 3. P. 63–70.
 13. Privalenko V. V., Bezuglova O. S. Ecological problems of anthropogenic landscapes in the Rostov region. *Ecology of the city of Rostov-on-Don*. Rostov-on-Don: Publishing House of the SKNTs VSH, 2003. 290 p.
 14. Sanitary standards for permissible concentrations of chemicals in the soil. SanPiN 42-128-1433-87, M., 1988.
 15. Sizov A.P. *Monitoring of urban lands with elements of their protection: textbook. allowance for students*. Moscow, 2000. 156 p.

16. Shishkina D. Yu. Heavy metals in the soils of Rostov-on-Don. Rostov-on-Don - Taganrog: Southern Federal University Press, 2017. 98 p.