

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД В ПРОЦЕССЕ БИОКОНВЕРСИИ

Е.В. Скрыльник, В.А. Гетманенко

*Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского,
г. Харьков, Украина*

ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью современного земледелия в Украине является разомкнутость круговорота веществ, в том числе органических, что, наряду с последовательным усилением антропогенного влияния на почву, приводит к достаточно быстрой реализации ресурсов плодородия почвы, прежде всего гумуса. Среднегодовые темпы минерализации гумуса в пахотных почвах Украины составляют в почвах Полесья – 0,18 т/га, Лесостепи – 0,37 т/га, Степи – 0,31 т/га [1]. Восполнения этих потерь не происходит, прежде всего вследствие недостаточного внесения органических удобрений. В целом по Украине вносится около 0,5 т/га органических удобрений, в то время как рекомендуемые дозы – 8–14 т/га.

В таких условиях необходимо вовлекать в производство органических и органо-минеральных удобрений местные сырьевые ресурсы, одним из которых являются осадки городских сточных вод (ОСВ), которые имеют высокую питательную ценность, и регулярно в больших объемах образуются на очистных станциях коммунальных сточных вод. В Украине переработку ОСВ с полезным использованием компонентов почти не применяют, поэтому весь образующийся объем ОСВ (около 1,8 млн т сухого вещества в год [2]), бессистемно складировается. Площадки для хранения представляют собой низкоэффективные устаревшие конструкции и требуют постоянного расширения. Накопление ОСВ создает значительную экологическую и социальную напряженность на прилегающих территориях.

Высокое содержание органического вещества в ОСВ обуславливает его потенциал как мелиоранта для улучшения гумусного состояния почв.

Большинство авторов отмечают, что прямая утилизация ОСВ несет за собой большие экологические риски, принимая во внимание наличие микробиологического загрязнения и повышенных концентраций тяжелых металлов (ТМ) [3, 4]. Для решения этой проблемы необходимо внедрение технологических приемов, которые обеспечивали бы переработку этих отходов в высокоэффективные удобрения с благоприятными агрохимическими и санитарно-гигиеническими свойствами, одним из которых является биоконверсия. Применение технологии компостирования, по сравнению с другими видами обработки ОСВ, позволяет устранить их основные недостатки: увеличить содержание твердой фазы, стабилизировать органическую составляющую, уменьшить содержание ТМ и обеспечить максимальное обеззараживание.

Повышение эффективности производства и использования компостов требует углубления исследований, направленных на оптимизацию процесса компостирования и разработки научно-технологического обеспечения.

МЕТОДИКА И ОБЪЕКТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Наши исследования были направлены на изучение трансформации органического вещества ОСВ в процессе биоконверсии в аэробных и анаэробных условиях с различными материалами.

В опыте использовали ОСВ г. Харькова трехлетнего хранения, которые характеризуются следующими параметрами: содержание общих форм (на сухое вещество) углерода – 28,79%, азота – 2,41, фосфора – 2,86 и калия – 0,39%. Органическое вещество ОСВ содержит гумусовые кислоты; в процентном отношении преобладает фракция гуминовых кислот (9,3% от $C_{\text{общ}}$) по сравнению с фракцией фульвокислот (7,0% от $C_{\text{общ}}$). По показателю гумификации торфа ПГТ (по Т.А. Гореловой [5]), исследуемые ОСВ характеризуются низкой степенью гумификации.

Для создания пористой структуры, необходимой влажности и соотношения углерода к азоту компостирование ОСВ осуществляется с наполнителями. В качестве наполнителей использовали опилки, лиственный опад и солому, которые имеют значительный материально-энергетический потенциал и входят в структуру местных сырьевых ресурсов всех регионов. Производство компостов на основе этих отходов имеет большое природоохранное значение, поскольку позволяет безопасно утилизировать эти отходы и максимально привлечь в биологический круговорот отчуждаемые элементы питания. Схема модельного опыта по биоконверсии ОСВ приведена в таблице 1.

Таблица 1

Схема опыта по биоконверсии осадков сточных вод

Без обработки гуматом калия											
Наполнитель											
Солома				Листья				Опилки			
С:N											
15:1			25:1			15:1			25:1		
Влажность, %											
50		65		50		65		50		65	
С обработкой гуматом калия											
Наполнитель											
Солома				Листья				Опилки			
С:N											
15:1			25:1			15:1			25:1		
Влажность, %											
50		65		50		65		50		65	

Измельченные компоненты, в рассчитанном согласно схеме опыта соотношении, смешивали и помещали в пластиковые сосуды с крышкой и перфорированной трубкой с внешним выходом для обеспечения аэрации. Образцы доводили до заданной влажности. Каждый день сосуды продували грушей через трубку, влажность контролировали весовым методом. Для интенсификации процесса компостирования использовался микропрепарат – отдельно и совместно с гуматом калия.

Подготовка к закладке опыта для проведения анаэробной биоконверсии ОСВ была аналогичной. Для обеспечения анаэробных условий сосуды со смесями плотно паковали в полиэтиленовую пленку, помещали в термостат и в течение опыта поддерживали температурные условия на уровне 40–42 °С. Готовность компостов оценивали визуально и подтверждали контролем токсичности в условиях биотестирования.

Содержание органического вещества в ОСВ и компостах на их основе определяли методом Тюрина, групповой состав гумуса – методом Тюрина в модификации Кононовой и Бельчиковой, оптическую плотность – по Орлову. ИК-спектры снимались на спектрометре Agilent Technologies Cary 630 (приставка Diffuse Reflectance). Статистическая обработка результатов опыта проводилась с помощью пакета программ Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для осуществления направленной оптимизации гумусного состояния почв важную роль играет не только количество, но и качество органического вещества, поступающего в почву. Многие авторы отмечают, что органическое вещество зрелых компостов имеет особую ценность для потенциального синтеза гумуса в почвах, поскольку содержит устойчивые к разложению гумусовые вещества [6, 7].

Трансформация органических отходов в процессе компостирования – сложный динамический биохимический процесс, при котором происходит два противоположно направленных процесса трансформации органического вещества: минерализация с образованием простых химических соединений и гумификация. Специфика трансформации органического вещества в аэробных условиях заключается в преобладании процесса минерализации.

Полученные данные свидетельствуют о том, что вследствие сложных биохимических превращений в процессе биоконверсии полученные компосты по составу органического вещества отличаются от исходного сырья (табл. 2).

В компостах, приготовленных в аэробных условиях, содержание общего углерода уменьшилось примерно на 30% по сравнению с исходными смесями, что связано с деструкцией органических соединений до углекислого газа и его испарения. Более интенсивная минерализация органического вещества наблюдалась при соотношении углерода к азоту 15:1. Некоторое влияние на массовую часть углерода в компостах имела обработка гуминовым препаратом. При различном уровне увлажненности, существенной разницы между вариантами по этому показателю не выявлено. Содержание органического углерода было выше в компостах, приготовленных с опилками, что объясняется высоким исходным содержанием углерода в этом материале, и сравнительно высокой устойчивостью к минерализации.

Анализ группового состава органического вещества исследуемых образцов показал тенденцию к увеличению содержания гумусовых кислот в компостах по сравнению с ОСВ. Максимальный выход суммы фракций гуминовых кислот и фульвокислот в органическом веществе наблюдался при C:N = 25:1. Добавление гумата калия обеспечило повышение выхода гумусовых кислот примерно на 9%.

**Показатели качества органического вещества компостов
на основе осадков сточных вод**

Вариант	C _{общ} , %	C _{гк}	C _{фк}	C _{гк} +C _{фк}	C _{гк} :C _{фк}	ПГТ
		% от C _{общ}				
Компосты аэробно-ферментированные						
(C:N = 15:1, с гуматом калия, влажность 65%)						
ОСВ–солома	27,9	12,4	9,6	22,0	1,29	2,1
ОСВ–листья	27,7	14,2	9,6	23,8	1,48	2,4
ОСВ–опилки	28,1	12,4	10,2	22,6	1,22	2,0
(C:N = 25:1, с гуматом калия, влажность 65%)						
ОСВ–солома	27,9	14,1	10,2	24,3	1,38	2,4
ОСВ–листья	29,6	15,3	9,6	24,9	1,59	2,5
ОСВ–опилки	31,1	12,6	10,9	23,5	1,16	2,0
Компосты анаэробно-ферментированные						
(C:N = 15:1, с гуматом калия, влажность 65%)						
ОСВ–солома	31,5	14,8	11,8	26,6	1,25	2,4
ОСВ–листья	31,8	16,2	11,2	27,4	1,45	2,6
ОСВ–опилки	33,7	14,1	12,1	26,2	1,17	2,2
(C:N = 25:1, с гуматом калия, влажность 65%)						
ОСВ–солома	33,8	16,2	13,4	29,6	1,21	2,5
ОСВ–листья	34,8	19,6	12,1	31,7	1,60	2,8
ОСВ–опилки	36,0	15,4	12,6	28,0	1,22	2,2

Установлено, что уровень влажности во время компостирования влияет на образование гумусовых веществ: наибольший выход наблюдался при влажности компостированной смеси на уровне 65%. Это можно объяснить тем, что низкомолекулярные соединения более быстро трансформируются при увеличении влажности, в том числе с образованием гуминовых кислот. При компостировании ОСВ с листьями наблюдалось наибольшее накопление фракции гуминовых кислот, на вариантах с опилками и соломой отмечается более активное накопление фракции фульвокислот, что может быть связано с природой этих материалов и, соответственно, вызывает низкую степень их гумификации.

Для оценки степени гумификации органических веществ в процессе биоконверсии использовали уже упомянутый показатель гумификации торфа (по Т.А. Гореловой). Для компостов, приготовленных в аэробных условиях, этот показатель варьировал в пределах 1,9–2,5, что соответствует средней степени гумификации.

Растущая стоимость переработки отходов с помощью аэробного разложения и энергетический кризис, с одной стороны, и новые достижения микробиологии и технологий – с другой, возродили интерес к анаэробной переработке органических отходов.

Наши исследования показали, что в анаэробных условиях разложение органических веществ исходного материала проходит не так интенсивно, как в условиях аэрации. За счет искусственного, более длительного термофильного периода, в готовых компостах улучшались показатели качества органической составляющей. Доказано, что при применении анаэробной технологии переработки ОСВ повышается содержание органического углерода (до 25%) и выход гуминовых кислот (до 30%). По сравнению с ОСВ, которые характеризуются низким показателем гумификации,

в процессе биоконверсии образовались удобрения со средним (при аэробной ферментации) и высоким (при анаэробной ферментации) показателем гумификации.

Для оценки глубины биохимических превращений органического вещества в процессе биоконверсии были проанализированы инфракрасные спектры гуминовых кислот исходных ОСВ и компостов на их основе (рис.1, 2).

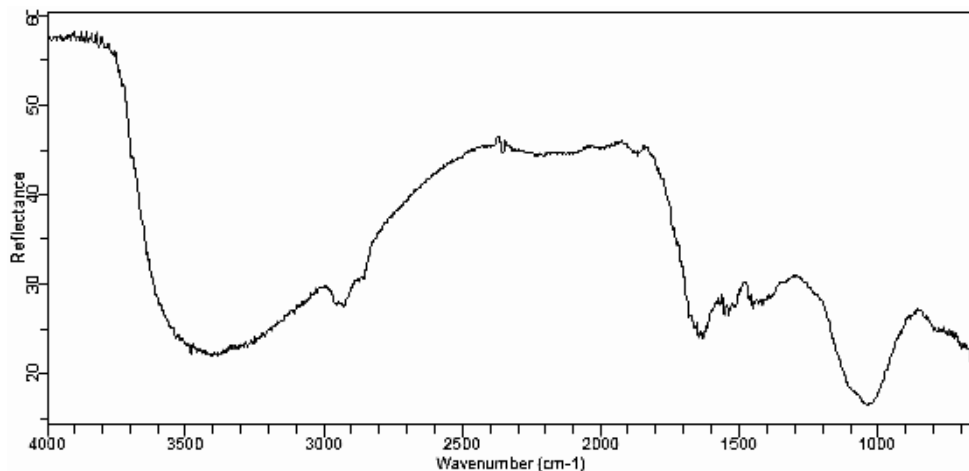


Рис. 1. ИК-спектр гуминовых кислот осадков сточных вод трехлетнего хранения

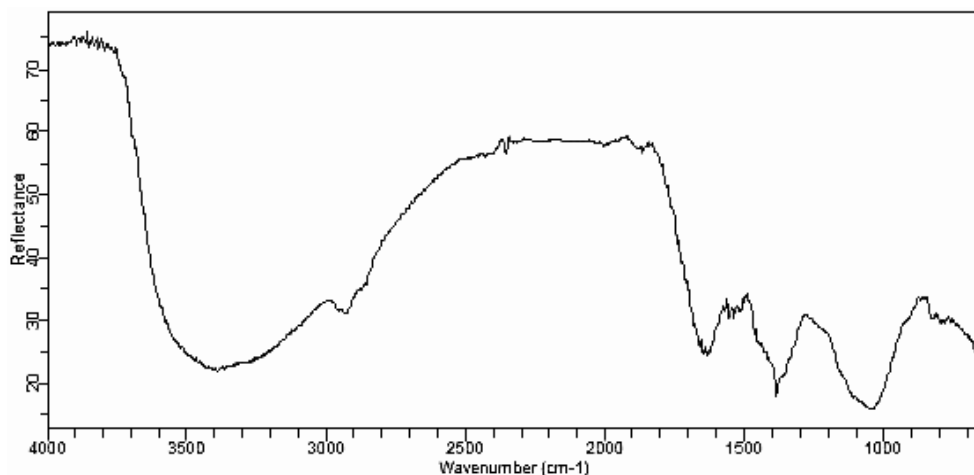


Рис. 2. ИК-спектр гуминовых кислот компоста на основе осадков сточных вод и листьев

Установлено, что гуминовые кислоты, выделенные из компостов на основе ОСВ, характеризуются схожими ИК-спектрами. В области 3300–3500 см⁻¹ проявляются валентные колебания ОН-групп, полосы метильных групп СН₃ проявляются при 2860 см⁻¹. В области 1725–1700 см⁻¹ проявляются валентные колебания С = О в карбоксильной группе.

Наибольшую интенсивность имеют полосы поглощения при 1040 см⁻¹, что обусловлено полисахаридами, при 1650 см⁻¹ (амид 1), свидетельствующее об обогащенности ГК азотсодержащими группами. Судя по интенсивности полос

поглощения доминируют ароматические структуры, но при этом заметную роль играют и различные алифатические компоненты, обогащенные кислород- и азот-содержащими группировками.

В процессе биоконверсии гуминовые кислоты ОСВ претерпевают трансформацию: уменьшается интенсивность поглощения части алифатических структур и возрастает интенсивность полос поглощения, характеризующих основные структурные компоненты ГК – ароматическое ядро (1625 см⁻¹) и карбоксильные группы (1730–1240 см⁻¹) В целом, гуминовые кислоты компостов являются более зрелыми соединениями, с более разнообразной азотистой частью.

Для выявления зависимости показателей качества органического вещества полученных компостов от условий компостирования был проведен регрессионный анализ (табл. 3). Эта зависимость характеризовалась такими уравнениями (для аэробной биоконверсии):

$$C_{\text{общ}} = 24,03 + 0,15 (C:N_{\text{исх}}) + 0,15 (C_{\text{гумата калия}}) (R^2 = 0,92) \quad (1)$$

$$C_{\text{ГК}} = 8,35 + 0,17 (C:N_{\text{исх}}) + 0,36 (C_{\text{гумата калия}}) (R^2 = 0,87) \quad (2)$$

$$\text{ПГТ} = 1,4 + 0,03 (C:N_{\text{исх}}) + 0,06 (C_{\text{гумата калия}}) (R^2 = 0,68) \quad (3)$$

Уравнения регрессии показывают, что содержание общего углерода и углерода гуминовых кислот, а также показатель гумификации в готовых компостах находятся в прямой зависимости от исходного соотношения углерода к азоту в смесях и концентрации гумата калия.

Таблица 3

Зависимость показателей качества органического вещества компостов от параметров аэробной биоконверсии (n = 20, уровень значимости: p < 0,05)

X-Y	r	SE	Уравнение
C:N _{исх} – C _{общ}	0,87	0,53	Y = 24,6 + 0,15 X
C:N _{исх} – C _{ГК}	0,82	0,0	Y = 9,6 + 0,17 X
C:N _{исх} – C _{фк}	0,7	0,23	Y = 9, 1 + 0,05 X
C:N _{исх} – ПГТ	0,68	0,07	Y = 1,62 + 0,03 X
C _{гумата калия} – C _{ГК}	0,53	0,34	Y = 11,69 + 0,36 X
C _{гумата калия} – ПГТ	0,49	0,18	Y = 1,94 + 0,06 X

Зависимость показателей качества органического вещества компостов, приготовленных в анаэробных условиях, от параметров компостирования (табл. 4) характеризуется такими уравнениями:

$$C_{\text{общ}} = 25,22 + 0,31 (C:N_{\text{исх}}) + 0,19 (C_{\text{гумата калия}}) (R^2 = 0,91) \quad (4)$$

$$C_{\text{ГК}} = 10,91 + 0,17 (C:N_{\text{исх}}) + 0,35 (C_{\text{гумата калия}}) (R^2 = 0,76) \quad (5)$$

Значимой связи между другими показателями не выявлено.

Таблица 4

Зависимость показателей качества органического вещества компостов от параметров анаэробной биоконверсии (n = 20, уровень значимости: p < 0,05)

X-Y	r	SE	Уравнение
C:N _{исх} – C _{общ}	0,91	0,61	Y = 25,9 + 0,31 X
C:N _{исх} – C _{ГК}	0,83	0,22	Y = 12,12 + 0,18 X
C:N _{исх} – C _{фк}	0,85	0,17	Y = 9,91 + 0,16 X
C _{гумата калия} – C _{ГК}	0,48	0,11	Y = 14,47 + 0,35 X

Также как в аэробно-ферментированных компостах, содержание общего углерода и углерода гуминовых кислот в образцах, изготовленных в анаэробных условиях, находятся в прямой зависимости от исходного соотношения углерода к азоту в смесях и концентрации гумата калия. Статистически значимой корреляции между параметрами исходной смеси и показателем гумификации компостов при анаэробной биоконверсии не выявлено.

ВЫВОДЫ

1. В процессе биоконверсии ОСВ с различными отходами существенно изменяется состав органического вещества исходного сырья: в полученных компостах снижается содержание общего углерода (до 30%) на фоне накопления гумусовых веществ (до 94%).

2. При применении анаэробной технологии переработки ОСВ повышается содержание органического углерода (до 25%), выход гуминовых кислот (до 30%) и коэффициенты гумификации по сравнению с аэробной технологией. По сравнению с исходными ОСВ, которые характеризуются низким показателем гумификации, в процессе биоконверсии образовались удобрения со средним (при аэробной ферментации) и высоким (при анаэробной ферментации) показателем гумификации.

3. В процессе биоконверсии гуминовые кислоты становятся, в химическом смысле, более зрелыми соединениями вследствие общей ароматизации молекул и обогащения соединениями циклической природы.

4. Выявлено, что показатели качества органического вещества компостов имеют высокую степень корреляции и находятся в прямой зависимости с показателями соотношения углерода к азоту в исходной смеси и концентрацией гумата калия.

5. Наилучшие характеристики органической составляющей формировались при совместной переработке ОСВ с листьями при следующих параметрах смеси: соотношении углерода к азоту 25%, влажности 65% с применением обработки гуматом калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрильник, Є. Як отримати якісний перегній? / Є. Скрильник, Т. Кудлай // Пропозиція нова. – 2012. – С. 58–61.

2. Сало, Т.Л. Агроекологічні та технологічні аспекти застосування в сільському господарстві осадів стічних вод міських очисних споруд / Т.Л. Сало, В.С. Дишлюк, А.В. Чернокозинський // Агроекологічний журнал. – 2001. – № 2. – С. 38–43.

3. Sommers, L.E. Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizer / L.E. Sommers // J. Environ. Quality. – 1997. – № 6. – P. 225–232.

4. Влияние ОСВ на почву / В.А. Касатиков [и др.] // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 2. – С. 45–47.

5. Горелова, Т.А. Особенности органического вещества торфяных, торфяно-глеевых и торфянисто-подзолисто-глеевых почв: дис. ... канд. биол. наук: 06.01.03 / Т.А. Горелова. – М., 1982. – 160 с.

6. Архипченко, И.А. Оптимизация процессов компостирования и влияние биокомпостов на урожай / И.А. Архипченко, О.В. Орлова // *Агрехимический вестник*. – 2001. – № 5. – С. 22–24.

7. Organic Matter Transformation and Humic Indices of Compost Maturity Stage During Composting of Municipal Solid Wastes / J. Drozd [et al] // *The role of Humic Substances in the ecosystems and in environmental protection*, Wroclaw: PTSH, 1997. – P. 855–863.

TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER IN BIOCONVERSION OF SEWAGE SLUDGE

E.V. Skryl'nik, V.A. Getmanenko

Summary

The parameters of transformation of sewage sludge organic matter in aerobic and anaerobic bioconversion with various organic wastes were analyzed. Relationships between quality parameters of organic component of composts and conditions of bioconversion were determined.

Поступила 10.03.15

УДК 632.116

ИНФИЛЬТРАЦИЯ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ (по данным лизиметрических исследований 1981–2012 гг.)

Г.В. Пироговская

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Анализ характера изменения климата в глобальном и региональном масштабах и его влияние на инфильтрацию атмосферных осадков в пахотных и луговых почвах как в мировом масштабе, так и в Республике Беларусь, безусловно, актуален. Последствие изменения климата на инфильтрацию атмосферных осадков мало изучено. Имеются отдельные данные, касающиеся изменения климата и его последствий на окружающую среду [1–9].

В естественных экосистемах количество вымываемых веществ зависит от природных факторов – почвообразующей породы, гранулометрического состава почвы, растительности, гидротермического режима (количества атмосферных осадков и температуры воздуха) и т. д. Однако, в любой стране, часть территории занимают сельскохозяйственные земли, на которых для повышения урожайности сельскохозяйственных культур применяются различные агротехнические приемы, которые могут стимулировать величины стока химических элементов и отрицательно влиять на качество подземных вод и других водных источников [10–14].