

УДК 628.473

**И. В. САТИН**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОМПоста ИЗ БИОРАЗЛАГАЕМОЙ ФРАКЦИИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД**

Переработка твердых бытовых отходов и осадков сточных вод путем аэробного компостирования позволяет получить ценное удобрение и снизить нагрузку на полигоны для захоронения отходов. Химический анализ полученных компостов показывает наличие необходимого количества биофильных компонентов. Санитарно-бактериологические исследования компостов показывают возможность их применения в качестве удобрения. Осадки сточных вод и полученные компосты содержат тяжелые металлы. Даны рекомендации по использованию компостов с учетом концентрации тяжелых металлов.

**твердые бытовые отходы, осадки сточных вод, компостирование, тяжелые металлы**

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ**

Улучшение экологического состояния Украины в значительной мере зависит от разработки технических решений и методов утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) и осадков сточных вод (ОСВ). Традиционное захоронение отходов на полигонах и картах приводит к росту отторгаемых земель, загрязнению грунтовых вод, почв, способствует распространению паразитарных заболеваний. Разработанные методы совместной утилизации и обезвреживания биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ путем аэробного компостирования позволяют снизить на 30–40 % нагрузку на полигоны ТБО и предотвратить негативное воздействие на окружающую природную среду. В результате компостирования получается органическое удобрение. Однако возникает ряд вопросов, связанных с реализацией полученного продукта. ОСВ, как правило, содержат соли тяжелых металлов и в результате компостирования их содержание не изменяется.

### **ВЗАИМОСВЯЗЬ С ПРАКТИЧЕСКИМИ ЗАДАНИЯМИ**

Работа выполнена в поддержку государственной темы К 3–06–01 «Повышение эффективности систем городского хозяйства» и региональной программы «Охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности Донецкой области до 2010 года»; Государственной программы «Ресурсосбережение», утвержденной ГКНТ Украины от 31.03.1993 г.

**Целью** работы является разработка рекомендаций по рациональному использованию органического удобрения, полученного путем совместного компостирования ОСВ и биоразлагаемой фракции ТБО.

Поставлены следующие **задачи**:

- 1) изучить химический состав и санитарные свойства ОСВ, ТБО и полученного компоста;
- 2) дать рекомендации рационального использования компоста.

### **ИЗЛОЖЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ**

Качественная определенность биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ всегда соответствует некоторому промежутку времени и проявляется как способность этих отходов к известной смене состояний или пребыванию в известном состоянии за рассматриваемый промежуток времени. Таким образом, химический состав и токсические свойства отходов различны для разных населенных пунктов и изменяется в течение времени.

© И. В. Сатин, 2013

Изучаемые компосты получали аэробным компостированием биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ. Эксперименты проводились в теплый период года на хозяйственно-бытовых канализационных очистных сооружениях г. Горловки. Учитывая особенности физиологии микроорганизмов, был выбран период года с температурой выше +8 °С, протяженностью 182 суток.

Химический состав исходной биоразлагаемой фракции ТБО (табл. 1) позволяет рассматривать его как ценное органическое удобрение.

**Таблица 1** – Химический состав биоразлагаемой фракции ТБО и ОСВ (г. Горловка)

| Показатель                    | Содержание, % от сухой массы ТБО | Содержание, % от сухой массы ОСВ |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| рН водной вытяжки             | 6,9±0,7                          | 6,5–7,5                          |
| Зольность                     | 5–12                             | 49,7–72,2                        |
| Азот общий                    | 0,9–2,4                          | 0,32–2,87                        |
| Влажность                     | 40–70                            | 20,3–64,3                        |
| Кальций                       | 4,0–5,7                          | –                                |
| Углерод общий                 | 22–35                            | –                                |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0,5–0,8                          | 0,15–1,10                        |
| K <sub>2</sub> O              | 0,5–1,1                          | 0,03–0,11                        |

ОСВ образуются в процессе очистки сточных вод на канализационных очистных сооружениях. По гранулометрическому составу исследуемые ОСВ представляют собой илы, близкие к природным алевритовым образованиям, которые содержат заметную часть примесей глинистого или песчаного материала.

Внесение ОСВ в грунт после переработки не ухудшит его физико-химические свойства. Этому способствует и практически нейтральный водородный показатель рН 6,5–7,5.

Кроме этого, ОСВ в сравнении с грунтами Донбасса характеризуются высоким содержанием общего азота и фосфора (динамичных форм этих элементов), а также высоким содержанием тяжелых металлов (табл. 2, 3).

**Таблица 2** – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в биоразлагаемой фракции ТБО

| Химический элемент | Наблюдаемый интервал содержания вещества, мг/кг по сухой массе | ПДК для с/х продуктов мг/кг | ПДК для удобрения мг/кг |
|--------------------|--|-----------------------------|-------------------------|
| Медь               | 0,5–5,0  | 5,0                         | 200                     |
| Цинк               | 0,5–20,0   | 10,0                        | 300                     |
| Ртуть              | Следы  | 0,01                        | 0,01                    |
| Кадмий             | 0,005–0,020  | 0,03                        | 0,035                   |
| Свинец             | Следы  | 0,5                         | 0,15                    |
| Мышьяк             | Следы  | 0,2                         | 0,018                   |

**Таблица 3** – Результаты химического анализа ОСВ (КОС, г. Горловка), % масс.

| Участок 1, пробы «конвертом» |                                |                   |            |                               |                  |                   |
|------------------------------|--------------------------------|-------------------|------------|-------------------------------|------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub>             | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O | CaO        | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
| 46,41±0,14                   | 10,13±0,10                     | 9,14±0,13         | 6,08±0,10  | 1,83±0,01                     | 0,94±0,02        | 0,79±0,02         |
| Участок 2, пробы «конвертом» |                                |                   |            |                               |                  |                   |
| 16,69±0,050                  | 7,77±0,10                      | 7,23±0,050        | 11,44±0,07 | 3,23±0,01                     | 0,62±0,02        | 0,32±0,03         |
| Участок 3, пробы «конвертом» |                                |                   |            |                               |                  |                   |
| 18,21±0,06                   | 6,31±0,05                      | 11,03±0,050       | 12,85±0,07 | 3,36±0,005                    | 0,59±0,02        | 0,31±0,02         |

Атомно-абсорбционной спектрофотометрией несколько элементов в сухой массе осадка не обнаружены – мышьяк, золото, гафний, цезий, сурьма, таллий, тантал, гафний, уран, торий и индий. В одной из проб обнаружили галлий, бериллий, олово, иттербий, барий, иттрий, лантан и скандий. В исследуемых образцах ОСВ (в том числе и в активном иле) присутствуют водорастворимые соли. Среди них преобладают сульфаты, нитраты и кальций. Соответственно присутствуют водорастворимые формы магния, а также гидрокарбонаты и в меньшей мере хлориды.

Исследования минеральной части ОСВ показывают наличие некоторых микроэлементов и солеобразующих веществ (табл. 3 и 4). Отметим, что суммарная засоленность ОСВ превышает в 10–20

**Таблица 4** – Результаты спектрального анализа ОСВ г. Горловка (по сухому веществу)

| Элемент       | Содержание, мг/кг |          |           | Фоновое содержание в почвах, мг/кг | ПДК для почв, мг/кг |
|---------------|-------------------|----------|-----------|------------------------------------|---------------------|
|               | I проба           | II проба | III проба |                                    |                     |
| Свинец (Pb)   | 20                | 80       | 19        | 18–20                              | 30                  |
| Никель (Ni)   | 50                | 160      | 70        | 44–57                              | 100                 |
| Хром (Cr)     | 150               | 90       | 140       | –                                  | 100                 |
| Медь (Cu)     | 150               | 310      | 120       | 25–30                              | 100                 |
| Ртуть (Hg)    | 2,5               | 1,5      | 1,0       | 0,028–0,037                        | 2,0                 |
| Стронций (Sr) | 400               | 290      | 240       | 300–400                            | 300                 |
| Магний (Mg)   | 4 700             | 1 420    | 1 890     | 8 000–9 970                        | не нормируется      |
| Марганец (Mn) | 700               | 210      | 240       | 1 000–2 000                        | 1 500               |
| Кальций (Ca)  | 70 000            | 40 000   | 45 000    | 29 600–50 000                      | не нормируется      |
| Цинк (Zn)     | 500               | 750      | 870       | 90–95                              | 300                 |
| Серебро (Ag)  | 7                 | 19       | 5,5       | 23,7–32,0                          | не нормируется      |
| Кадмий (Cd)   | 7                 | 3        | 0         | 0,5                                | 4                   |
| Фосфор (P)    | 700               | 3 900    | 1 400     | 6 560                              | –                   |

раз содержание легкорастворимых солей в почве [1, 7]. Однако многие исследования других авторов констатируют то, что накопление растворимых солей в почве при внесении ОСВ не наблюдается. Содержание серы в ОСВ также превышает фоновый уровень почвы. Но поскольку серы в грунтах постоянно не хватает, то внесение дополнительного количества окажет положительный эффект по данному показателю.

По общим микробным загрязнениям исследуемые компосты и почвы существенно не отличаются между собой. Наиболее загрязненные активный ил (колититр  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  г) и новообразованные ОСВ ( $10^{-4}$  г). В почвах колититр составил 0,1 г.

Санитарно-бактериологическую оценку загрязненности компосты можно проводить с помощью шкалы санитарного состояния почвы по таблице 5 [2, 7].

**Таблица 5** – Оценка санитарного состояния грунта

| Степень безопасности    | Степень загрязнения | Показатель эпидемиологической безопасности |                              |                  |
|-------------------------|---------------------|--|------------------------------|------------------|
|                         |                     | Колититр, г                                | Число гельминтов (в окуляре) | Число Хлебникова |
| Безопасный              | Чистый              | 1,0  | 0                            | 0,98             |
| Относительно безопасный | Слабо загрязненный  | 1,0–0,1                                    | До 10                        | 0,85–0,98        |
| Небезопасный            | Загрязненный        | 0,01–0,001                                 | 11–100                       | 0,7–0,85         |
| Очень опасный           | Сильно загрязненный | менее 0,001                                | Более 100                    | 0,7              |

В целом все образцы могут быть охарактеризованы как «относительно безопасные» (табл. 6). Также необходимо учитывать, что солнечная радиация воздействует дезинфицирующе на открыто расположенные участки складирования ОСВ.

**Таблица 6** – Динамика санитарно-бактериологических показателей

| Номер опыта | Колититр, г    |               | Степень загрязнения |
|-------------|----------------|---------------|---------------------|
|             | В начале опыта | В конце опыта |                     |
| 7           | $10^{-5}$      | 1,0           | Чистые              |
| 12          | $10^{-5}$      | $10^{-1}$     | Слабо загрязненные  |

Как показывают исследования других авторов, «свежий» осадок, который находился полгода в условиях относительного анаэробноа, обладает большой фитотоксичностью [3]. Однако в процессе сохранения его происходит постепенная детоксикация и уже на четвертый год фитотоксичность уменьшается на 95 %. Через 5 лет выдержки ОСВ на иловых картах их фитотоксичность практически не отличается от контрольных тестов. При этом биопотенциал осадков не изменяется [5].

Отбор и анализ ОСВ, которые депонируются на иловых картах в разные сроки, а также однородность субстратов позволили проследить динамику изменения их состава и некоторых свойств. Стало известно, что за 5 лет хранения ОСВ почти на 60 % уменьшается количество органического вещества, происходит разложение азотсодержащих соединений (с образованием аммонийных

соединений), уменьшается содержание гумуса почти на 50 %, происходит вымывание магния, изменяется гранулометрический состав (происходит коагуляция фракций размером до 0,005 мм). Некоторые исследователи доказали, что содержание микроорганизмов в исследуемых образцах (на примере Днепропетровска) за четыре года снижается с 350–400 млн/г до 50 млн/г [7]. Эти же исследования показывают, что наибольшую активность в качестве компостируемого материала ОСВ проявляют до 12 месяцев со дня их образования.

Перечисленные закономерности показывают, что срок хранения ОСВ в качестве сырьевого материала для компостирования должен ограничиваться определенным временем. Это предстоит изучить в процессе исследования.

По санитарно-бактериологическим показателям полученные компосты по истечению эксперимента можно охарактеризовать как «чистые» или «слабо загрязненные» в опытах № 7 и 12 (табл. 6).

Другие опыты, которые не достигли в максимальной температуре 55 °С, имеют высокую загрязненность. Наличие жизнеспособных яиц гельминтов в опытах № 7 и 12 не обнаружено. Другие агрохимические и химические анализы были положительными.

Таким образом, в санитарно-гигиеническом отношении (с учетом высокой самоочистной способности почв и климатических особенностей региона) использование данного продукта в качестве удобрения можно считать безопасным.

С экологической точки зрения процесс аэробной переработки отходов можно рассмотреть как источник парниковых газов – водяной пар, оксид углерода (IV) и метана (следы). Однако необходимо учитывать, что разложение органической массы с выделением парниковых газов неизбежно как в случае переработки, так и в случае депонирования на полигонах. Также полученный компост содержит соли тяжелых металлов: Pb – 75 мг/кг, Hg – 2,8 мг/кг, Cd – 8,1 мг/кг, которые оказывают негативное влияние на санитарно-гигиеническое состояние почв [1–7]. Поэтому для почвы, в которую вносится удобрение, учитывают фоновое содержание тяжелых металлов и ПДК загрязнителей.

Известно, что уровень загрязнения грунта зависит от количества технологических выбросов и сбросов предприятий. Международным институтом риска здоровья и ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в работе по изучению размещения ОСВ, смесей на их основе и компостов, для снижения уровня химического загрязнения осадков, их обеззараживания и дегельминтизации рекомендовано компостирование [7]. Проведенные натурные исследования показали, что в экологическом и экономическом аспектах компостирование ОСВ целесообразно осуществлять с твердыми бытовыми отходами или с компостом на их основе.

Предложены следующие варианты использования полученных компостов: восстановление нарушенных земель, вертикальная планировка территорий, формирование новых территорий, благоустройство свалок, зеленое строительство, активизация выделения биогаза на полигонах (рис.).

Для защиты от микробиологического заражения рекомендуется применение дополнительного известкования компоста негашеной известью. Известь повышает значение рН и позволяет значительно снизить количество растворимых солей тяжелых металлов. Полученный таким образом компост с повышенным значением рН и содержанием извести используется как органическое удобрение. При незначительном превышении концентрации тяжелых металлов (до ЗПДК<sub>п</sub>) рекомендуется использование этого компоста как компонента для изготовления газонного грунта путем смешивания компоста с песком в соответствующей пропорции. Такой грунт можно использовать для выращивания газонной травы и декоративных растений.

Дозу внесения компоста в почву можно вычислить по формуле:

$$D_{\text{гиз}} = \frac{(ПДК - \Phi) \cdot 3 \cdot 10^3}{C}, \quad (1)$$

где  $D_{\text{гиз}}$  – доза внесения удобрения (компоста), т/га;  
 $ПДК$  – предельно допустимая концентрация металла в почве, мг/кг;  
 $\Phi$  – фоновое содержание металла в почве, мг/кг;  
 $C$  – содержание металла в компосте, мг/кг;  
 $3 \cdot 10^3$  – коэффициент перерасчета на гектар.

Расчеты дозы внесения компоста необходимо проводить по каждому металлу отдельно и выбрать минимальную из полученных величин.

Если концентрация тяжелых металлов в компосте высокая (более ЗПДК<sub>п</sub>), возможно использование компоста в качестве пробиотического материала для перекрытия слоев ТБО на полигонах с



Рисунок – Блок-схема рекомендуемого использования компоста.

последующей экстракцией биогаза. Укладываемый слоями компост позволяет увеличить выход биогаза из тела полигона и сократить время до начала газогенерации.

## ВЫВОДЫ

- 1) показано, что компосты, полученные на основе аэробного компостирования из осадков сточных вод и биоразлагаемой фракции твердых бытовых отходов содержат необходимые биофильные элементы;
- 2) санитарно-гигиеническая оценка состояния компостов и осадков сточных вод показывает возможность их применения в качестве удобрения;
- 3) предложен способ разделения на сферы применения компостов с учетом концентрации тяжелых металлов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дрейер, А. А. Твердые промышленные и бытовые отходы, их свойства и переработка [Текст] / А. А. Дрейер, А. Н. Сачков, К. С. Никольский. – М. : Экология города, 1997. – 230 с.
2. Paluszak, Z. Hygienisierung von Klärschlamm aus Tierkörperbeseitigungsanstalten [Текст] / Z. Paluszak, H. Olszewska, B. Szejnuk // Tierärztliche Umschau. – 2002. – 2. – P. 85–88.
3. Roth, S. Microbiologisch-hygienische Untersuchungen zur Bioabfall-kompostierung in Mieten und in Kleinkomposten [Текст] / S. Roth. – Hohenheim : Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, 1994. – 235 p.
4. Soldierer, W. Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss einer thermischen Desinfektion von Flussgäsmist auf die Vermehrungsfähigkeit ausgewählter Mikroorganismen [Текст] / W. Soldierer. – Hohenheim : Institut für Umwelt- und Tierhygiene sowie Tierhygiene sowie Tiermedizin mit Tierklinik der Universität Hohenheim, Hohenheim, 1991. – 141 p.
5. Tiguia, S. M. Composting of spend pig litter in turner and forced-aerated piles [Текст] / S. M. Tiguia, N. F. Y. Tam // Environmental Pollution. – 1998. – 99. – P. 329–337.
6. Strauch, D. Mikrobielle Untersuchungen zur Hygienisierung von Klärschlamm. 3 Teil: Versuche bei der Mieten-Kompostierung von Stroh mit Faulschlamm [Текст] / D. Strauch // GWF. – 2009. – № 6. – P. 298–301.
7. Шевчук, В. Я. Биотехнология получения органоминеральных удобрений из вторичного сырья [Текст] / В. Я. Шевчук, К. А. Чеботько, В. Н. Разгуляев. – К. : изд-во «Знання», 2001. – 236 с.

Получено 13.09.2013

I. V. SATIN

**САНІТАРНО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА КОМПОСТУ З БІОРОЗПАДНОЇ ФРАКЦІЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ТА ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД**

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Переробка твердих побутових відходів та осадів стічних вод шляхом аеробного компостування дозволяє отримати цінне добриво і знизити навантаження на полігони для захоронення відходів. Хімічний аналіз отриманих компостів показує наявність необхідної кількості біофільних компонентів. Санітарно-бактеріологічні дослідження компостів показують можливість їх застосування як добрива. Опаси стічних вод та отримані компости містять важкі метали. Надано рекомендації щодо використання компостів з урахуванням концентрації важких металів.

**тверді побутові відходи, осадки стічних вод, переробка, компостування**

IGOR SATIN

**SANITARY-HYGIENIC EVALUATION OF COMPOST BIODISTROY FRACTION OF MUNICIPAL SOLID WASTE AND SEWAGE SLUDGE**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Recycling of municipal solid waste and sewage sludge by aerobic composting provides a valuable fertilizer and reduce the burden on landfills. The chemical analysis of the compost indicates the presence of the required number of biophylic components. Sanitary-bacteriological tests indicate the possibility of compost their use as a fertilizer. Sewage sludge and compost contain heavy metals. The recommendations for the use of compost with the concentration of heavy metals.

**municipal waste, sewage sludge, recycling, composting**

**Сатин Ігор Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва і господарства Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: переробка відходів.

**Сатин Игорь Валентинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: переработка отходов.

**Satin Igor** – PhD (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: development of novel technologies of composting.