

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ БИОКОНВЕРСИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ВИДОВ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ

© 2024 г. Т. Ю. Анисимова^{1,*}, С. И. Тарасов¹

¹Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Верхневолжского ФАНЦ
601390 Владимирская область, Судогодский р-н, п. Вяткино, ул. Прянишникова, 2, Россия
*E-mail: anistan2009@mail.ru

Изучили эффективность применения традиционных и интенсивных технологий аэробной переработки компостных смесей на основе осадка сточных вод (ОСВ), торфа и активаторов биотермических процессов. Установлено, что переработка отходов в буртах по традиционной технологии не обеспечила высокотемпературную санацию компостных смесей. Интенсивная аэробная переработка в ферментационных камерах активизировала биотермические процессы, обеспечила надежное обеззараживание компостной смеси, имевшей в составе птичий помет, ОСВ, торф. Производство биокомпостов соответствовало требованиям ГОСТ Р 55570, ГОСТ Р 54651, Регламента ЕС №2019/1009, национального стандарта Канады CAN/BNQ 0413-200. В сравнении с переработкой в буртах интенсивная аэрация, проведенная в крайне сжатые сроки, сопровождалась меньшими потерями в компостных смесях органического вещества, азота (в среднем на 10%), увеличением содержания подвижного калия, избирательным накоплением подвижных форм тяжелых металлов (меди, цинка, свинца), не оказавшим влияние на фитотоксичность биокомпостов.

Ключевые слова: птичий помет, торф, осадки сточных вод, микробные удобрения, компостные смеси, ускоренное компостирование, температурные режимы, биокомпосты.

DOI: 10.31857/S0002188124090074, **EDN:** CCQSTE

ВВЕДЕНИЕ

Результатом процесса интенсификации сельского хозяйства стали существенные негативные воздействия на природные комплексы и их компоненты, отрицательные изменения в состоянии окружающей природной среды. Остро стоят проблемы почвенного плодородия агроценозов, поиска возможных путей повышения биологической активности почвы, сохранения и улучшения ее агроэкологического состояния, в том числе повышения уровня обеспеченности органическим веществом и улучшения агрофизических свойств почв, особенно легкого механического состава.

В современном земледелии РФ снижается использование органических удобрений, что обусловлено не только уменьшением поголовья КРС, свиней, но и недостаточным использованием современных технологий производства данных удобрений на животноводческих и птицеводческих комплексах, отсутствием на предприятиях

нормативной базы по агрохимикатам из отходов животноводства [1].

Сельскохозяйственные и антропогенные органические отходы являются одним из основных отходов производственной и бытовой деятельности человека. Одним из видов данных отходов являются различные виды животноводческих и городских отходов, в частности, осадки сточных вод (ОСВ).

Эффективность производства органических удобрений на основе ОСВ посредством ускоренного компостирования в РФ изучена мало. Не определены оптимальные ингредиентные составы компостных смесей на основе ОСВ, не установлены энергосберегающие режимы, сроки их твердофазной интенсивной аэробной переработки. Отсутствуют сведения о целесообразности применения различных препаратов многофункционального спектра действия при производстве биокомпостов на основе ОСВ методом ускоренного компостирования. Не разработаны рекомендации их применения.

Удобрения, произведенные на основе отходов коммунального хозяйства (*ОСВ*), содержат почти равное количество органического вещества и биогенных элементов по сравнению с навозом в пересчете на сухое вещество. Однако объем их применения крайне ограничен, что обусловлено высоким инфекционным и инвазионным потенциалом. Недостатками *ОСВ* также являются низкие величины соотношений $C : N (<10)$, их высокая влажность ($>75\%$) и плотность (>1.0). Массовое применение осадка сточных вод в качестве удобрений ограничено наличием в них повышенных концентраций загрязняющих веществ, среди которых наибольшую опасность представляют тяжелые металлы: Cd, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr и др. [2].

Снизить инфекционный потенциал, токсичность *ОСВ* можно контролируемым компостированием. Согласно зарубежной практике, концепции разумного потребления и устойчивого развития (“Sustainable Development”), наиболее перспективными технологиями производства органических удобрений на основе отходов коммунального хозяйства являются технологии аэробной твердофазной переработки в интенсивном режиме, позволяющие получать биокомпосты, используемые в лесонасаждениях, сельских и озеленительных хозяйствах [3].

При производстве органических удобрений наибольшее распространение получила технология ускоренного компостирования в специализированных установках с принудительной интенсивной аэрацией. В РФ применяют аналогичные установки, как правило, зарубежного производства (Kari Compo S-90E, ABONO, Kohshin и др.), в основном в хозяйствах индустриального животноводства, птицеводства, при производстве коммерческих видов органических удобрений на основе навоза, помета [4].

Разработка научно обоснованных экологически безопасных приемов использования отходов от производственной деятельности АПК в хозяйственном обороте, внедрение и совершенствование технологии по их переработке способствуют сокращению объемов накопленных и вновь образованных отходов. Объектами исследования являлись компостные смеси на основе птичьего помета, торфа, осадков сточных вод, навоза и микробных удобрений.

Цель работы – разработка экологически безопасных методов и технологий биоконверсии органических отходов агропромышленного комплекса и коммунального хозяйства для производства и использования новых видов органических и органоминеральных удобрений в земледелии.

В процессе выполнения работы провели аналитический обзор научной отечественной и зарубежной литературы, экспериментальные исследования

в стационарной специализированной установке по ускоренному компостированию, лабораторные аналитические исследования с использованием агрохимических методов, а также компьютерных программ Excel, STATVIA.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение приемов и технологий биоконверсии отходов АПК и городского хозяйства проводили в модельном опыте, материалом для исследований служили компостные смеси на основе *ОСВ* станций биологической очистки г. Владимира и торфа верхового. Для ускорения деструкции органических отходов и повышения удобрительного потенциала биокомпостов в компостную смесь на основе *ОСВ* и торфа добавляли высушенный птичий помет влажностью 36% и микробное удобрение Бамил (разработка ВНИИСХМ).

Исследование проводили по следующей схеме.

I. Компостирование в буртах (традиционная технология): 1 – *ОСВ* + торф (1 : 2) – контроль, 2 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella*, 3 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella* + Бамил (25%), 4 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella* + птичий помет (25%).

II. Интенсивное аэробное компостирование: 5 – *ОСВ* + торф (1 : 2) – контроль, 6 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella*, 7 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella* + Бамил (25%), 8 – *ОСВ* + торф (1 : 2) + *Salmonella* + птичий помет (25%).

Препараты *Salmonella* добавляли в качестве индикатора для оценки степени обеззараживания биокомпоста от патогенной микрофлоры.

Агрохимическая характеристика исходных компонентов компостных смесей приведена в табл. 1.

Традиционное компостирование проводили в буртах на площадке производственных испытаний ВНИИОУ, интенсивную аэробную ферментацию – в стационарной установке конструкции ВНИИОУ.

Пилотная опытно-производственная установка аэробной твердофазной переработки в интенсивном режиме представляет собой капитальное строение прямоугольной формы размерами 9×4 м и высотой 3 м из кирпичных стен и оцинкованных пола и крыши, в полу предусмотрена перфорация для поступления воздуха. Управление технологическим процессом ручное, аэрацию проводили в течение 4 ч/сут на протяжении 15 сут. Подачу воздуха проводили непрерывно посредством компрессора 2АФ мощностью 2.5 кВт с интенсивностью $4.0-4.5 \text{ м}^3/\text{Т}/\text{мин}$.

Масса исходной компостной смеси для буртов составляла 1000 кг, в контейнерах – 13–15 кг в восьмикратной повторности.

Таблица 1. Химический состав исходных компонентов компостных смесей

| Вид органического удобрения | Влажность, % | Зола, % | Содержание общих, % | | | N-NO ₃ , мг/кг | N-NH ₄ , % | Подвижные | | С, % | рН |
|-----------------------------|--------------|---------|---------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|------|------|
| | | | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | | P ₂ O ₅ | K ₂ O | | |
| | | | | | | | | мг/кг | | | |
| ОСВ + торф (контроль) | 63.9 | 22.0 | <u>0.78</u> 0.28 | <u>0.46</u> 0.17 | <u>0.14</u> 0.05 | 3.4 | <u>0.069</u> 0.025 | 24.0 | 6.9 | 39.0 | 4.40 |
| ОСВ + торф + Бамил | 67.8 | 18.5 | <u>0.90</u> 0.29 | <u>0.74</u> 0.24 | <u>0.15</u> 0.05 | 2.5 | <u>0.093</u> 0.003 | 24.5 | 6.5 | 45.8 | 4.70 |
| ОСВ + торф + птичий помет | 66.8 | 26.0 | <u>1.28</u> 0.42 | <u>1.47</u> 0.49 | <u>0.52</u> 0.17 | 1.3 | <u>0.15</u> 0.05 | 24.9 | 20.5 | 37.0 | 6.27 |
| Птичий помет | 35.8 | 30.5 | <u>1.43</u> 0.92 | <u>3.19</u> 2.04 | <u>1.52</u> 0.97 | 15.1 | <u>0.30</u> 0.125 | 160 | 75.7 | 34.8 | 7.58 |
| Торф | 65.3 | 7.0 | <u>0.74</u> 0.26 | <u>0.7</u> 0.25 | <u>0.1</u> 0.04 | 4.1 | <u>0.058</u> 0.02 | 31.0 | 4.0 | 46.5 | 3.79 |
| ОСВ | 72.5 | 38.5 | <u>1.63</u> 0.44 | <u>2.45</u> 0.69 | <u>0.38</u> 0.11 | 6.8 | <u>0.2</u> 0.055 | 92.0 | 11.0 | 30.8 | 7.31 |

Примечание. Над чертой – на сухое вещество, под чертой – на сырое вещество.

Компоненты компостных смесей для буртов измельчали, перемешивали с помощью лопат, формировали бурт высотой 1.5 м, шириной 1.5 м треугольного сечения.

Компоненты компостных смесей для интенсивной аэрации измельчали, тщательно перемешивали и помещали в контейнеры из полистирола объемом 0.02–0.04 м³ с перфорированным днищем и стенками, затем контейнеры устанавливали в биоферментационную установку.

Замеры температуры в буртах проводили каждые сутки на глубине 30–50 см от поверхности, в ферментационной установке – в среднем слое смесей с помощью контактного цифрового термометра Hanna HI 98509 Checktemp.

До и после переработки определяли физико-химические свойства компостных смесей: рН – по ГОСТ 27979, влажность – по ГОСТ 26713, содержание органического вещества – по ГОСТ 27980, общий азот – по ГОСТ 26715, общий фосфор – по ГОСТ 26717, общий калий – по ГОСТ 26718, подвижные фосфор, калий – по ГОСТ 26204.

При изучении эффективности обеззараживания компостных смесей на основе ОСВ и торфа в буртах и камере использовали тест-объекты, которыми служили навески смесей массой 5 и 1 кг, помещенные в капроновые мешки. Тест-объекты были контаминированы суспензией паспортизированного штамма бактерий группы сальмонелл *Salmonella typhi* из расчета 4 тыс. микробных клеток/г. Тест-объекты закладывали в средние слои компостных смесей и затем по окончании переработки извлекали для проведения анализов. Санитарно-гигиенические характеристики (общее

микробное число, коли-титр, наличие энтеробактерий рода *Salmonella*) компостных смесей до и после переработки определяли общепринятыми методами [5]. Оценку степени эпидемиологической опасности нативных и обработанных компостных смесей проводили по СанПиН 2.1.3684, МР ФЦ/4022 от 24.12.2009, ГОСТ Р 55570, ГОСТ Р 54651, Регламенту ЕС 2019/1009, национальному стандарту Канады CAN/BNQ 0413-200 [6–11] в соответствии с указаниями и правилами [12–14]. Численность, выживаемость санитарно-показательных микроорганизмов проводили согласно общепринятым методикам с последующим их посевом на питательных средах. При определении общего микробного числа использовали мясопептонный агар, коли-титра – среду Кесслера, титра анаэробов – среду Вильсона–Блера, сальмонелл – среду Висмут сульфит агар, БГКП – среду Эндо. Для оценки эффективности обеззараживания компостных смесей на основе ОСВ и торфа пробы нативных и инфицированных компостных смесей отбирали до постановки опыта и после его окончания: в буртах – через 1.5 мес., в установке – через 15 сут.

Содержание валовых и подвижных тяжелых металлов (ТМ) определяли методом пламенной атомной абсорбции согласно ГОСТ Р 53218-2008 [15], СанПиН 2.1.7.573-96 [16], СанПиН 1.2.3685-21 [17], МУК 4.1.1471-03 [18].

Суммарную фитотоксичность биокомпостов определяли по степени подавления роста корней проростков редиса согласно ГОСТ Р ИСО 18763-2019 [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования получены данные наблюдения за температурным режимом в процессе компостирования, динамики изменения физической массы, содержания органического вещества, основных биогенных элементов и ТМ, санитарно-гигиенических характеристик в компостных смесях и биокомпостах.

Установлено, что в компостных смесях при компостировании в буртах в течение 45 сут наибольшая температура в смеси контрольного варианта составила 32.8°C, при использовании микробного удобрения Бамил температура в смеси повышалась до 35°C, при применении птичьего помета – до 52°C (рис. 1).

В опыте с интенсивной непрерывной аэрацией в течение 4 ч наибольшая температура смесей при переработке составила 55.8°C в варианте с птичьим пометом. При использовании микробного удобрения Бамил температура в смеси повышалась до 42.9°C, в контрольном варианте наибольшая температура смеси составила 32.3°C. Добавление в компостную смесь птичьего помета

способствовало более быстрому разогреву и более длительному прохождению термофазы (рис. 2).

Основными показателями качества и безопасности органических удобрений, биокомпостов являются содержание в них органического вещества, питательных элементов, в том числе в подвижной форме, санитарно-гигиенические и токсикологические характеристики.

Изменения физико-химических свойств компостных смесей, происходящие в ходе их аэробной переработки в буртах и в интенсивном режиме, показаны в табл. 2 и 3.

В компостных смесях в буртах снижение содержания влаги составило от 6.35 до 16.5% в зависимости от варианта. Наибольшее снижение влажности зафиксировано в компостных смесях на основе *ОСВ*, торфа и птичьего помета, что можно объяснить большей интенсивностью их биотермической переработки. В процессе аэробной переработки в интенсивном режиме отмечены потери массы компостных смесей, размеры которых зависели от их состава. Наибольшие потери массы компостных смесей отмечены при их аэробной переработке в буртах (–18%), при интенсивной переработке они составили 12%.

Аэробная переработка в буртах сопровождалась снижением содержания органического вещества на 16–30, общего азота на 14–24 и аммонийного – на 0.051–0.073 мг N/кг, подвижного фосфора на 48–67 мг/кг. Валовое содержание фосфора и калия не изменялось, повышалось содержание подвижного калия на 8.3–24.5 мг/кг. Аэробная переработка в буртах обусловила снижение кислотности компостных смесей с pH 4.4–6.0 до 5.15–6.3 ед. (табл. 2).

Аналогичные изменения физико-химических свойств отмечены в компостных смесях при интенсивной 4-часовой аэрации. В сравнении с традиционной технологией использование аэробной твердофазной переработки в ферментационной камере в интенсивном режиме сопровождалось меньшими потерями органического вещества (12–20%), общего (11–15%) и аммиачного (0.027–0.056 мг/кг) азота, подвижного фосфора (35–47 мг/кг) (табл. 3). Валовое содержание фосфора и калия также не изменялось, повышалось содержание подвижного калия (на 10.8–31.0 мг/кг). Отмечено незначительное снижение (на 2.8–5.4%) содержания влаги. После переработки в ферментационной камере в компостных смесях всех вариантов опыта отмечено снижение кислотности с pH 4.4–6.0 до 4.5–6.27 ед.

Согласно результатам санитарно-гигиенического исследования, в компостных смесях на основе *ОСВ*, торфа, Бамила, птичьего помета не были обнаружены бактерии рода *Salmonella*, являющиеся основным критерием наличия патогенных

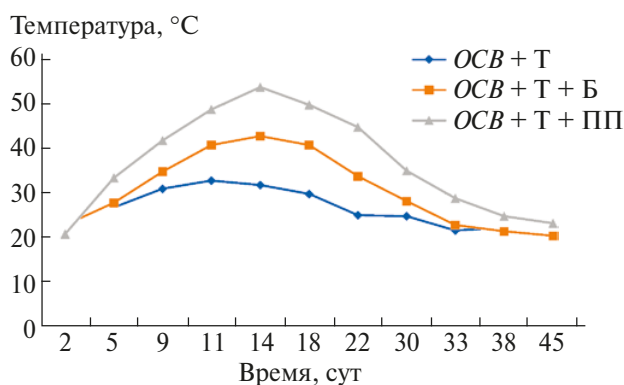


Рис. 1. Изменение температуры при компостировании в буртах.

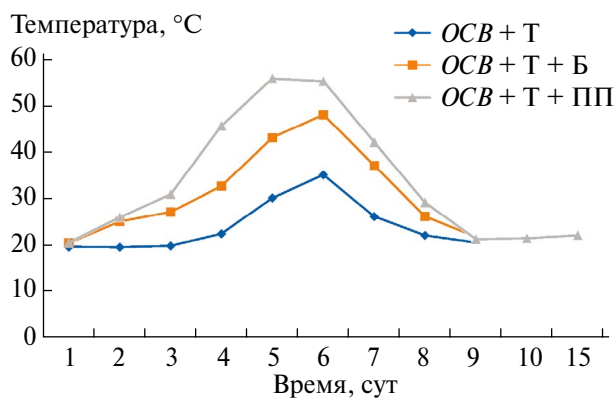


Рис. 2. Изменение температуры при компостировании в ферментационной камере.

Таблица 2. Влияние 45-суточной традиционной аэробной переработки в буртах на физико-химические свойства компостных смесей на основе *ОСВ* и торфа

| Показатель | Величина | Вариант | | | |
|---------------------------|------------|-------------------|---------------------------------------|---|---|
| | | <i>ОСВ</i> + торф | <i>ОСВ</i> + торф + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф + Бамил + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф + помет + <i>Salmonella</i> |
| $C_{орг}$, % | Исходная | 42.0 | 39.0 | 45.3 | 48.0 |
| | Конечная | 35.3 | 32.8 | 34.3 | 33.6 |
| | +/-, % | -16.0 | -16.0 | -24.0 | -30.0 |
| $N_{вал}$, % | Исходная | 1.48 | 1.46 | 1.52 | 1.72 |
| | Конечная | 1.27 | 1.26 | 1.49 | 1.31 |
| | +/-, % | -14.0 | -14.0 | -18.0 | -24.0 |
| $N-NH_4$, мг/кг | Исходная | 0.094 | 0.096 | 0.098 | 0.1033 |
| | Конечная | 0.047 | 0.048 | 0.035 | 0.024 |
| | +/-, мг/кг | -0.051 | -0.048 | -0.063 | -0.073 |
| $N-NO_3$, мг/кг | Исходная | 3.4 | 3.0 | 2.5 | 1.31 |
| | Конечная | 35.6 | 34.9 | 36.6 | 41.4 |
| | +/-, мг/кг | +32.2 | +31.9 | +34.1 | +40.1 |
| $P_2O_5_{вал}$, % | Исходная | 1.15 | 1.14 | 1.20 | 1.42 |
| | Конечная | 1.13 | 1.12 | 1.15 | 1.36 |
| | +/-, % | -2.0 | -2.0 | -4.0 | -4.10 |
| $P_2O_5_{подв}$, мг/кг | Исходная | 240 | 242 | 245 | 259 |
| | Конечная | 192 | 194 | 191 | 192 |
| | +/-, мг/кг | -48 | -48 | -54 | -67 |
| $K_2O_{вал}$, % | Исходная | 0.21 | 0.19 | 0.25 | 0.26 |
| | Конечная | 0.20 | 0.183 | 0.24 | 0.25 |
| | +/-, % | -4.8 | -3.5 | -2.5 | -4.0 |
| $K_2O_{подв}$, мг/кг | Исходная | 59.0 | 60.0 | 66.0 | 72.0 |
| | Конечная | 67.3 | 69.6 | 87.1 | 96.5 |
| | +/-, мг/кг | +8.3 | +9.6 | +21.1 | +24.5 |
| рН | Исходная | 4.4 | 4.4 | 4.7 | 6.0 |
| | Конечная | 5.15 | 5.2 | 6.0 | 6.3 |
| Влажность, % | Исходная | 63.9 | 63.8 | 67.8 | 66.8 |
| | 15 сут | 57.5 | 58.0 | 56.9 | 50.3 |
| Убыль физической массы, % | Всего | -12.8 | -12.1 | -14.1 | -18.0 |

микроорганизмов в компостных смесях, органических удобрениях. Вместе с тем данные компостные смеси характеризовались крайне высокой микробной численностью (табл. 4, 5).

В 1 г компостов микробная численность превышала десятки миллионов, содержание бактерий группы кишечных палочек, анаэробных клостридий – десятки тысяч. Учитывая существующие санитарные и гигиенические правила, согласно которым органические удобрения должны соответствовать требованиям, предъявляемым к чистой почве сельскохозяйственных угодий, селитебных и рекреационных территорий [20], данные компостные

смеси по степени эпидемиологической опасности, по показателям коли-титра, титра анаэробных клостридий (0.0001) оценивались как “чрезвычайно опасные” [21]. Данные компостные смеси не соответствовали требованиям Регламента ЕС №2019/1009, национального стандарта Канады CAN/BNQ 0413-200 [10, 11], согласно которым содержание бактерий группы кишечных палочек в компостах не должно превышать 1000 микробных клеток/г.

Тест-объекты на основе указанных компостных смесей и контаминированные суспензией бактерий *Salmonella typhi* из расчета 4 тыс. микробных клеток/г также оценивались как “чрезвычайно опасные”.

Таблица 3. Влияние интенсивной 15-суточной аэробной переработки в ферментационной камере на изменение физико-химических свойств компостных смесей на основе *OCB* и торфа

| Показатель | Величина | Варианты | | | |
|---------------------------|------------|-------------------|---------------------------------------|---|---|
| | | <i>OCB</i> + торф | <i>OCB</i> + торф + <i>Salmonella</i> | <i>OCB</i> + торф + Бамил + <i>Salmonella</i> | <i>OCB</i> + торф + помет + <i>Salmonella</i> |
| $C_{орг}$, % | Исходная | 41.6 | 42.0 | 46.3 | 49.0 |
| | Конечная | 39.0 | 39.5 | 39.3 | 37.0 |
| | +/-, % | -12.0 | -12.0 | -16.0 | -20.0 |
| $N_{вал}$, % | Исходная | 1.46 | 1.46 | 1.54 | 1.71 |
| | Конечная | 1.30 | 1.30 | 1.32 | 1.45 |
| | +/-, % | -11.0 | -11.0 | -14.0 | -15.0 |
| $N-NH_4$, мг/кг | Исходная | 0.091 | 0.098 | 0.098 | 0.1024 |
| | Конечная | 0.064 | 0.065 | 0.054 | 0.046 |
| | +/-, мг/кг | -0.027 | -0.033 | -0.044 | -0.056 |
| $N-NO_3$, мг/кг | Исходная | 3.4 | 3.4 | 2.5 | 1.31 |
| | Конечная | 34.4 | 34.9 | 35.9 | 41.0 |
| | +/-, мг/кг | +31.0 | +31.5 | +33.4 | +39.7 |
| $P_2O_5_{вал}$, % | Исходная | 1.42 | 1.42 | 1.24 | 1.44 |
| | Конечная | 1.38 | 1.38 | 1.20 | 1.38 |
| | +/-, % | -2.4 | -2.4 | -3.2 | -4.0 |
| $P_2O_5_{подв}$, мг/кг | Исходная | 236 | 244 | 249 | 260 |
| | Конечная | 201 | 205 | 209 | 213 |
| | +/-, мг/кг | -35 | -41 | -40 | -47 |
| $K_2O_{вал}$, % | Исходная | 0.21 | 0.21 | 0.25 | 0.28 |
| | Конечная | 0.20 | 0.20 | 0.24 | 0.28 |
| | +/-, % | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.0 |
| $K_2O_{подв}$, мг/кг | Исходная | 60.0 | 58.0 | 68.0 | 78.0 |
| | Конечная | 70.8 | 69.6 | 89.1 | 109.0 |
| | +/-, мг/кг | +10.8 | +11.6 | +21.1 | +31.0 |
| рН | Исходная | 4.4 | 4.4 | 4.7 | 6.0 |
| | Конечная | 4.5 | 4.8 | 6.0 | 6.3 |
| Влажность, % | Исходная | 63.9 | 63.9 | 67.8 | 66.8 |
| | 15 сут | 60.7 | 66.1 | 62.4 | 64.0 |
| Убыль физической массы, % | Всего | -10.2 | -10.2 | -8.6 | -11.7 |

Как показали результаты исследований, традиционное аэробное компостирование в буртах в течение 1.5 мес. с трехкратной перебивкой не позволила обеспечить высокотемпературную переработку всех видов компостных смесей, их гарантированную санацию. Наибольшие температурные показатели (52°C) отмечены лишь при переработке компостной смеси на основе *OCB*, торфа и птичьего помета. Данная компостная смесь из категории “сильно загрязненная, чрезвычайно опасная” после переработки в буртах оценивалась как “слабо загрязненная, относительно опасная”. Аэробная переработка в буртах при данной температуре не обеспечила обеззараживание компостной смеси на

основе *OCB*, торфа и птичьего помета: в 1 г смеси отмечено наличие бактерий *Salmonella typhi* на уровне нескольких десятков микробных клеток. После переработки в буртах все остальные виды компостных смесей оценивались как “загрязненные, опасные” с высоким уровнем их контаминации бактериями *Salmonella typhi*.

Согласно результатам исследования, применение интенсивной аэробной переработки в стационарной установке в течение 15 сут не обеспечило активизацию биотермических процессов в компостных смесях на основе *OCB*, торфа, Бамила. Максимальная температура при их переработке не превысила 55°C. В соответствии с СанПиН 2.1.3684-21,

Таблица 4. Влияние традиционной аэробной переработки (в буртах) на эпидемиологическую безопасность компостных смесей на основе *ОСВ* и торфа

| Показатель эпидемиологической опасности | Виды компостных смесей, биокомпостов | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|--|--|---|---|--|
| | Исходные компостные смеси | | | | Компостные смеси после переработки | | | |
| | температура до опыта, °С | | | | максимальная температура переработки, °С | | | |
| | 18–20 | | | | 32.4 | 32.8 | 35.0 | 52.0 |
| | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 (контроль) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 (контроль) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) |
| Общее микробное число, млн/г | 19.5 | 20.0 | 26.0 | 25.0 | 18.6 | 19.4 | 24.2 | 24.4 |
| Коли-титр, г | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.01 |
| Титр анаэробов, г | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.01 |
| Наличие сальмонелл (КОЕ), тыс./г | 0.2 | 2.6 | 2.4 | 3.4 | 0.1 | 1.8 | 0.1 | 0.1 |

Таблица 5. Влияние интенсивной аэробной переработки (в установке) на эпидемиологическую безопасность компостных смесей на основе *ОСВ* и торфа

| Показатель эпидемиологической опасности | Виды компостных смесей, биокомпостов | | | | | | | |
|---|--------------------------------------|---|---|--|--|---|---|--|
| | Исходные компостные смеси | | | | Компостные смеси после переработки | | | |
| | температура до опыта, °С | | | | максимальная температура переработки, °С | | | |
| | 18–20 | | | | 32.3 | 18–20 | 42.9 | 18–20 |
| | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 (контроль) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 (контроль) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1 : 2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) |
| Общее микробное число, млн/г | 19.5 | 20.0 | 26.0 | 26.0 | 15.6 | 15.8 | 16.2 | 15.8 |
| Коли-титр, г | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.1 |
| Титр анаэробов, г | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.1 |
| Наличие сальмонелл (КОЕ), тыс./г | 0.2 | 2.6 | 2.4 | 3.4 | 0.1 | 1.8 | 0.1 | Отсутствие |

указанные компостные смеси после их интенсивной аэрации оставались “загрязненными, опасными” с высокой их контаминацией бактериями *Salmonella typhi*, группы кишечной палочки, анаэробных клостридий (табл. 5).

Эффективная высокотемпературная переработка в установках интенсивной аэрации отмечена лишь при использовании компостной смеси на

основе *ОСВ*, торфа и птичьего помета. Переработка в интенсивном режиме при температурах, превышающих 50°C, с максимумом 55.8°C на протяжении 48 ч обеспечила надежное обеззараживание компостной смеси. Полученный биокомпост на основе *ОСВ*, торфа и птичьего помета соответствовал требованиям безопасности: содержание бактерий группы кишечной палочки, анаэробных

Таблица 6. Влияние традиционной аэробной переработки (в буртах) на токсикологическую безопасность компостных смесей на основе *ОСВ*, торфа, птичьего помета

| Показатель токсикологической опасности (допустимая погрешность измерения) | Исходные компостные смеси | | | | | Компостные смеси после переработки | | | | | Различия содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов, +/- % | |
|---|-------------------------------------|---|---|--|---------------------------------------|--|---|---|--|---|--|---------------------------|
| | температура до постановки опыта, °С | | | | | максимальная температура переработки, °С | | | | | | |
| | 18–20 | | | | | 32.4 32.8 35.0 52.0 | | | | | | |
| Норма, мг/кг | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 (кон-троль) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | Сред-нее | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 (кон-троль) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>ОСВ</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | Сред-нее |
| | ОДК | 0.27 57.71 30.16 5.25 ≤0.02 | 0.31 58.2 26.2 5.46 ≤0.02 | 0.24 66.4 38.4 6.02 ≤0.02 | 0.33 58.8 32.2 4.96 ≤0.02 | 0.29 60.28 31.74 5.42 ≤0.02 | 0.26 48.4 24.4 4.18 ≤0.02 | 0.32 60.8 36.6 5.62 ≤0.02 | 0.24 56.2 34.8 6.06 ≤0.02 | 0.34 58.8 29.6 4.26 ≤0.02 | 0.29 56.05 31.35 5.03 ≤0.02 | 0 -7.0 -1.2 -7.2 |
| ПДК | ≤0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ≤3.0 | 0.05 | 0.046 | 0.058 | 0.06 | 0.056 | 0.052 | 0.065 | 0.067 | 0.06 | +11.1 | +11.1 |
| ≤23 | 11.2 | 9.9 | 12.6 | 10.8 | 11.1 | 12.1 | 10.7 | 13.6 | 11.7 | 12.0 | +8.0 | +8.0 |
| ≤6.0 | 0.22 | 0.19 | 0.26 | 0.21 | 0.22 | 0.25 | 0.22 | 0.3 | 0.24 | 0.25 | +14.0 | +14.0 |
| ≤1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблица 7. Влияние интенсивной аэробной переработки (в установке) на токсикологическую безопасность биокомпостов на основе *OSV*, торфа, птичьего помета

| Показатель токсикологической опасности (допустимая погрешность измерения) | Исходные компостные смеси | | | | Компостные смеси после переработки | | | | Различия содержания валовых и подвижных форм тяжелых металлов, +/– % | | | |
|---|--|---|---|--|--|---|---|--|--|-------|-------|-------|
| | Температура до постановки опыта, °С | | | | Максимальная температура переработки, °С | | | | | | | |
| | 18–20 | | 18–20 | | 32.3 | | 32.2 | | | 55.8 | | |
| Норма, мг/кг | <i>OSV</i> + торф (контроль) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | Среднее | | | | Среднее | | | |
| | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> (контроль) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | <i>OSV</i> + торф (контроль) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + Бамил (25%) | <i>OSV</i> + торф 1:2 + <i>Salmonella</i> + птичий помет (25%) | | | | |
| ОДК | 0.5–2.0 | 0.27 | 0.31 | 0.24 | 0.33 | 0.29 | 0.19 | 0.32 | 0.26 | 0.3 | 0.268 | –7 |
| | 33–132 | 57.71 | 58.2 | 66.4 | 58.8 | 60.28 | 49.6 | 58.6 | 64.1 | 59.6 | 58.0 | –3.8 |
| | 55–220 | 30.16 | 26.2 | 38.4 | 32.2 | 31.74 | 28.4 | 34.4 | 36.4 | 29.6 | 32.2 | –1.4 |
| | 32–130 | 5.25 | 5.46 | 6.02 | 4.96 | 5.42 | 5.48 | 4.26 | 5.9 | 5.14 | 5.2 | –4.0 |
| | 2.1 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 | ≤0.02 |
| ПДК | ≤0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ≤3.0 | 0.05 | 0.046 | 0.058 | 0.06 | 0.054 | 0.07 | 0.063 | 0.08 | 0.083 | 0.074 | +38 |
| | ≤23 | 11.2 | 9.9 | 12.6 | 10.8 | 11.13 | 14.3 | 12.7 | 16.1 | 13.82 | 14.2 | +28 |
| | ≤6.0 | 0.22 | 0.19 | 0.26 | 0.21 | 0.22 | 0.54 | 0.47 | 0.64 | 0.51 | 0.54 | +145 |
| | ≤1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

кlostридий не превышало 1000 микробных клеток/г, бактерии *Salmonella typhi* отсутствовали.

Согласно результатам исследования, традиционная аэробная переработка в буртах при температурах 32–52°C не оказала влияния на содержание валовых и подвижных форм ТМ в компостных смесях на основе *ОСВ* и торфа. Различия в содержании кадмия, меди, цинка, свинца, ртути в компостных смесях до и после их переработки не превышали погрешности измерений (табл. 6).

В условиях интенсивной аэробной переработки при температурах 32.0–55.8°C содержание ТМ в компостных смесях имело тенденцию к снижению. Однако данные изменения были крайне незначительными и не превышали ошибки измерений. Наиболее очевидным было повышение содержания в компостных смесях подвижных форм меди, цинка, свинца, соответственно на 15, 7, 110% с учетом ошибки измерения (табл. 7).

Анализ на общую токсичность по биотесту с применением экспресс-метода показал, что компостные смеси всех вариантов опыта не являлись токсичными для растений (табл. 8, 9).

Проведена оценка эффективности производства органических удобрений на основе *ОСВ*, торфа, птичьего помета посредством ускоренного

и традиционного компостирования, показавшая преимущество интенсивной аэрации при компостировании в ферментационной камере компостной смеси на основе торфа, *ОСВ* и птичьего помета, в результате чего был получен биокомпост, соответствующий требованиям отечественных и зарубежных нормативов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установлено, что компостные смеси на основе осадка сточных вод (*ОСВ*) и торфа характеризуются крайне низкой способностью к биотермической переработке как в условиях традиционного компостирования в буртах, так и в ферментационных установках интенсивной аэрации, что, вероятно, обусловлено инертностью органического вещества торфа, наличием в составе *ОСВ* веществ, подавляющих биоконверсионные процессы.

Традиционная и интенсивная переработки компостных смесей на основе *ОСВ*, торфа, биоудобрения Бамил в буртах, ферментационной установке не обеспечили высокотемпературное их обеззараживание и производство органических удобрений, соответствующих отечественным и зарубежным нормативным требованиям.

Таблица 8. Фитотоксичность компостных смесей после аэробной переработки в буртах (45-суточная переработка)

| Вариант | Общее количество семян, шт. | Всхожесть, % | Общая длина корней | Средняя длина одного корня | +/- к контролю | к контролю | Токсичность |
|--|-----------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|------------|-------------|
| | | | | | | | |
| Контроль (дистиллированная H ₂ O) | 50 | 85.0 | 130 | 2.9 | – | 100 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф | 50 | 89.0 | 140 | 3.4 | +0.5 | 117 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф + Бамил | 50 | 89.0 | 179 | 3.8 | +0.9 | 131 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф + птичий помет | 50 | 91.0 | 182 | 4.1 | +1.2 | 141 | – |

Таблица 9. Фитотоксичность компостных смесей после их активной аэрации в ферментационной камере

| Вариант | Общее количество семян, шт. | Всхожесть, % | Общая длина корней | Средняя длина одного корня | +/- к контролю | к контролю | Токсичность |
|--|-----------------------------|--------------|--------------------|----------------------------|----------------|------------|-------------|
| | | | | | | | |
| Контроль (дистиллированная H ₂ O) | 50 | 85.0 | 130 | 2.9 | – | 100 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф | 50 | 90.0 | 142 | 3.3 | +0.4 | 114 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф + Бамил | 50 | 92.0 | 184 | 3.9 | +1.0 | 135 | – |
| <i>ОСВ</i> + торф + птичий помет | 50 | 90.0 | 146 | 4.2 | +1.3 | 145 | – |

Традиционная и интенсивная переработки в буртах и в ферментационной установке сопровождались потерями в компостных смесях органического вещества, общего и аммонийного азота. Более высокие их потери в буртах, вероятно, были обусловлены большей длительностью переработки, пролонгацией биотермических процессов в мезофильном режиме при температурах 25–30°C.

Применение птичьего помета в условиях интенсивной аэрации в ферментационной установке способствовало активации биотермических процессов. Длительная переработка компостной смеси при температурах, превышающих 55°C, обеспечила ее гарантированное обеззараживание и производство биокомпостов, соответствующих требованиям ГОСТ Р 55570, ГОСТ Р 54651.

Традиционная аэробная переработка в буртах не оказала влияния на содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в компостных смесях. В условиях интенсивной аэрации отмечено избирательное повышение содержания подвижных форм тяжелых металлов (меди, цинка, свинца) в компостных смесях, что не сопровождалось увеличением их токсичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курганова Е.В., Копейкина Л.И., Гюнтер Л.И., Беляева С.Д. Комплексная оценка осадков сточных вод // *Агрохим. вестн.* 1999. № 3. С. 38–40.
2. Носовская И.И., Соловьев Г.А., Егоров В.С. Влияние длительного систематического применения различных форм минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс кадмия, свинца, никеля и хрома // *Агрохимия.* 2001. Т. 1. С. 82–91.
3. Wang X. Relationship between bacterial diversity and environmental parameters during composting of different raw materials // *Bioresource technol.* 2015. V. 198. P. 395–402.
4. РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М.: МСХ РФ, 2020. 180 с.
5. Методы анализов органических удобрений / Под ред. А.И. Еськова. М.: РСХА, ВНИПТИОУ, 2003. 552 с.
6. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. URL: <https://base.garant.ru/400289764/>
7. МР ФЦ/4022 от 24.12.2009. Метод. рекоменд. 4.1. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200087788>
8. ГОСТ Р 55570-2013 Удобрения органические. Биокомпосты. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55558/>
9. ГОСТ Р 54651-2011 Удобрения органические на основе осадков сточных вод. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с.
10. Регламент Европейского Парламента и Совета Европейского Союза 2019/1009 от 5 июня 2019 г. “Об установлении правил размещения удобрений на рынке ЕС и об изменении Регламентов (ЕС) 1069/2009 и (ЕС) 1107/2009, а также об отмене Регламента (ЕС) 2003/2003”. URL: <https://base.garant.ru/74313554/>
11. Нормативные требования к компостам // *СBio.ru.* URL: <http://cbio.ru/page/50/id/3958/htm>
12. Инструкция по лабораторному контролю очистных сооружений на животноводческих комплексах, утв. МСХ СССР 17.11.1982 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200043585>
13. МУК 4.2.3261-15 Методические указания. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Определение количества микроорганизмов в пищевых продуктах и объектах окружающей среды методом наиболее вероятного числа с применением автоматического экспресс-анализатора. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200126316>
14. Ветеринарно-санитарные правила подготовки к использованию в качестве органических удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птиц, утв. Департаментом ветеринарии Минсельхозпрод России, 1997 г. URL: <https://fsvps.gov.ru/files/veterinarno-sanitarnye-pravila-podg/>
15. ГОСТ Р 53218.2008 Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/583/4293829025.pdf>
16. СанПиН 2.1.7.573-96 Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293825/4293825376.pdf>
17. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. URL: <https://normativ.su/catalog/standart/1001/950531/>

18. МУК 4.1.1471-03 Атомно-абсорбционное определение массовой концентрации ртути в почвах и твердых минеральных материалах.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034850>
19. ГОСТ Р ИСО 18763-2019 Качество почвы. Определение токсического воздействия загрязняющих веществ на всхожесть и рост на ранних стадиях высших растений.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200166928>
20. Соколов М.С., Жариков Г.А., Соколова Л.М. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству агрохимикатов при их государственной регистрации // Агро XXI. 2003. № 1–6. С. 138–142.
21. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий.
URL: <https://base.garant.ru/400289764/>

Environmentally Friendly Methods and Technologies of Bioconversion of Organic Wastes from Agro-Industrial Complex for Production of New Types of Organic Fertilizers

T. Yu. Anisimova^{a, #}, S. I. Tarasov^a

^aAll-Russian Scientific Research Institute of Organic Fertilizers and Peat – branch of the Verkhnevolzhsky FASC, ul. Pryanishnikova 2, s. Vyatkinо, Sudogodsky district, Vladimir region 601390, Russia

[#]E-mail: anistan2009@mail.ru

The effectiveness of the use of traditional and intensive technologies for the aerobic processing of compost mixtures based on sewage sludge (SS), peat and activators of biothermal processes was studied. It was found that the recycling of waste in clamps using traditional technology did not provide high-temperature sanitation of compost mixtures. Intensive aerobic processing in fermentation chambers activated biothermal processes, ensured reliable disinfection of the compost mixture, which included bird droppings, soil, peat. The production of biocompost met the requirements of GOST R 55570, GOST R 54651, EU Regulation No. 2019/1009, the National standard of Canada CAN/BNQ 0413-200. In comparison with processing in clamps, intensive aeration carried out in an extremely short time was accompanied by lower losses in compost mixtures of organic matter, nitrogen (by an average of 10%), an increase in the content of mobile potassium, selective accumulation of mobile forms of heavy metals (copper, zinc, lead), which did not affect phytotoxicity of biocompost.

Keywords: bird droppings, peat, sewage sludge, microbial fertilizers, compost mixtures, accelerated composting, temperature regimes, biocompost.