

**БИОКАТАЛИТИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО  
ОРГАНИЧЕСКОГО СЫРЬЯ И ЕГО ОБОГАЩЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ  
КОМПОНЕНТАМИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

***В.П. Молчанов, Н.В. Фомичева, Ю.Ю. Косивцов, М.Г. Сульман***

*Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия*

Одним из наиболее эффективных путей интенсификации внедрения биотехнологических и химико-технологических процессов является проведение масштабных физико-химических исследований и выполнение на их основе соответствующих кинетических расчетов. Результаты указанных расчетов позволяют прогнозировать протекание процессов и проводить целенаправленный синтез различных химических соединений в промышленном масштабе. Такой переход от изучения кинетики реакций к их промышленной реализации может быть осуществлен при помощи моделирования. Теория моделирования химических и биотехнологических процессов в значительной мере основывается на законах кинетики. Для выполнения моделирования необходимы подробные и достаточно точные кинетические данные.

В связи с этим, для создания научных основ технологии получения продукции, обогащенной биологически активными веществами, на основе смесей растительных отходов и отходов животноводства проведены физико-химические и кинетические исследования, результаты которых позволяют сделать предположения о механизмах образования сахаров, витаминов и аминокислот, то есть представить последовательность молекулярных трансформаций в процессе биокаталитической конверсии.

Сложность решения этой задачи обуславливается неоднозначностью механизмов биохимических реакций, лежащих в основе исследуемого процесса, которые, как правило, сопровождаются образованием лабильных и реакционноспособных промежуточных соединений. Установление наличия, изучение строения и свойств этих промежуточных соединений, обнаружение корреляций между строением и их реакционной способностью и составляют сущность исследования механизма процесса. В свою очередь, выявление механизма позволяет решить вопросы прогнозирования поведения системы во времени и перейти к задачам оптимизации процесса с целью получения конечного продукта биокаталитической конверсии с максимальным содержанием биологически активных веществ.

Объектом представляемого исследования является процесс биокаталитической конверсии органических субстратов с дополнительным образованием биологически активных соединений под действием ферментативных систем микроорганизмов, первоначально находящихся в исходном субстрате. В качестве органического субстрата могут быть использованы торф, крупнотоннажные отходы сельскохозяйственных производств и перерабатывающей промышленности (солома, опилки, льняная костра, льняные и хлопковые очесы прядильных фабрик, жмыхи маслоперерабатывающих производств и др.). В качестве добавки к органическим субстратам могут применяться коммунальные отходы, а также химические стимуляторы, концентрация и состав которых могут оказать влияние на интенсивность образования биологически активных компонентов (витаминов, аминокислот, сахаров).

Компостирование навоза с торфом издавна используется для получения органических удобрений. Торф представляет собой экологически чистый природный материал, в котором содержится около 7 % сырого протеина, 6 % клетчатки, 0.7 % жира и микроэлементов, однако питательная ценность переработанного торфа невысока и составляет менее 0.2 кормовых единиц. Навоз, несмотря на то, что богат различными питательными веществами, в том числе, витаминами и минеральными солями, содержит патогенную микрофлору. Для эффективного использования таких компостов в кормопроизводстве необходимо обогащать их витаминами и микроэлементами и проводить дополнительную обработку (пастеризацию) для устранения влияния патогенной микрофлоры. Обогащение компоста будет осуществляться методом его биоконверсии с микроорганизмами-производителями протеина, аминокислот и других питательных веществ.

Сущность исследованного процесса заключается в создании наиболее благоприятных условий развития отдельных групп микроорганизмов, ферментативные системы которых способны активно разрушать природные биополимерные комплексы (целлюлозу и, частично, лигнин) до моно-, ди- и олигосахаридов и трансформировать последние в аминокислоты, олиго- и полипептиды.

Полученный в результате биоконверсии продукт обогащен белками, аминокислотами, липидами, сахарами, витаминами, микроэлементами. Комплекс вышеуказанных веществ при использовании полученного продукта в качестве удобрений будет способствовать значительному повышению плодородных свойств почвы, а при скармливании сельскохозяйственным животным и птице в качестве кормовых добавок – повышению привесов биомассы, надоев и других показателей.

Для выявления ценности конечного продукта, а также с целью оптимизации процесса его получения выполнены комплексные физико-химические исследования состава ферментируемой смеси и содержания в ней различных биологически активных веществ. В ходе проведения указанных исследований использованы современные методы анализа в сочетании с имеющимся в распоряжении коллектива исполнителей комплектом дорогостоящего аналитического оборудования, в состав которого входят система капиллярного электрофореза, хроматографический комплекс для ВЭЖХ-анализа, газовый и жидкостный хроматомасс-спектрометры, анализатор дзета-потенциала, автоматический анализатор поверхности образцов и другие эффективные исследовательские приборы.

По результатам проведенных комплексных исследований процесса биоконверсии группой ученых Тверского государственного технического университета и Всероссийского НИИ мелиорированных земель (г. Тверь) разработана технология переработки отходов животноводства и птицеводства с влагопоглощающим материалом посредством аэробной твердофазной ферментации в высокоэффективную, экологически чистую продукцию – компост многоцелевого назначения (КМН). Его производство осуществляется в ферментере камерного типа, представляющего собой сооружение размером 5×10 м и высотой до 4.5 м, в полу которого вмонтированы перфорированные трубы, тупиковые с одного конца и объединенные с другого общим воздухопроводом. Стандартной установкой по производству КМН является двухкамерный ферментер, но в зависимости от объемов производства биоудобрения на практике могут использоваться батареи из любого числа ферментеров. При соблюдении основных технологических параметров (влажности органической смеси 50–70 %, pH 6–8, соотношения углерода к азоту 20–30:1, содержания кислорода в массе – 5–12 %) спустя 7–10 суток получается биоудобрение КМН, характеризующееся экологической чистотой, высоким уровнем биогенности и питательности, обусловленным высвобождением элементов питания из природных биополимеров органического сырья и микробиологическим синтезом вторичных метаболитов в процессе ферментации.

Кроме того, предложена технология переработки отходов животноводства влажностью не более 75 % в высокоэффективные, экологически чистые жидкофазные биосредства для роста и развития растений. В основе технологии лежат ферментационно-экстракционные процессы преобразования органического сырья (навоза крупного рогатого скота, низинного или переходного торфа) с включением стимуляторов различной природы. Главное отличие технологической линии заключается в установлении заданных физико-химических параметров, позволяющих эффективно задействовать исходный потенциал микрофлоры, за счет жизнедеятельности которой формируется качественная продукция.

На основе совместных исследований, выполненных сотрудниками Всероссийского НИИ мелиорированных земель и Тверского государственного технического университета, оптимизирован процесс аэробно-анаэробной твердофазной ферментации смеси органических отходов животноводства и трудногидролизуемого сырья растительного происхождения и предложены научные основы новой ресурсосберегающей, безотходной и экологически чистой технологии утилизации отходов методом биоконверсии при использовании торфонавозных смесей в качестве основного субстрата. На протяжении нескольких суток происходит биотрансформация ферментируемой смеси, а пастеризационный эффект достигается в результате кратковременной обработки продукта ферментации ультразвуком интенсивностью 50–60 Вт/кв. см.

Осуществлена комплексная апробация технологии биоконверсии растительного сырья и органических отходов с получением продукции сельскохозяйственного назначения на опытно-промышленных установках для биоконверсии на базе Тверского государственного технического

университета, Всероссийского НИИ мелиорированных земель и ООО "Наукоемкое производство". Решены практические вопросы рационального подбора состава субстратных смесей, установления оптимальных технологических режимов, организации контроля за проведением процесса биоконверсии природного органического сырья.

Определены основные технико-экономические и технологические показатели эффективности возможного производства по утилизации отходов путем их биоконверсии с торфонавозными смесями на модульной установке. Показано, что реализация указанного процесса в промышленном масштабе позволит получать высокоэффективную продукцию сельскохозяйственного назначения при одновременном сокращении себестоимости производства. Сочетание таких преимуществ как использование дешевого, доступного и конкурентоспособного органического сырья, а также интенсивных биотехнологических методов его переработки обуславливает высокую экономическую эффективность внедрения создаваемых процессов за счет существенного сокращения затрат на производство продукции сельскохозяйственного назначения.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований  
(проект № 18-08-00460).*

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- Akhtar, N.; Goyal, D.; Goyal, A. 2015. Biodegradation of leaf litter biomass by combination of *Bacillus* sp and *Trichoderma reesei* MTCC164 // *Minerva Biotechnologica*. Vol.: 27. Pp.: 191–199.
- Champagne, Pascale. 2007. Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues: A Canadian perspective Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues in Canada // *Resources Conservation and Recycling*. Vol.: 50. Pp.: 211–230.
- Champagne, Pascale. 2008. Bioethanol from agricultural waste residues // *Environmental Progress*. Vol.: 27. Pp.: 51–57.
- Rehman, Kashif Ur; Rehman, Abdul; Cai, Minmin. 2017. Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) // *Journal of Cleaner Production*. Vol.: 154. Pp.: 366–373.
- Басадыгин С.В., Васильев С.К., Мохонь В.В., Новоселов С.А. 2000. Способ получения почвовосстановителя. Патент РФ № 2136638.
- Волохов В.А., Светушков В.П., Шильников И.А., Аканова Н.И. 2004. Органозольное удобрение и способ его получения. Патент РФ № 2238925. Бюл. № 30.
- Ерина Т.Э., Винаров А.Ю. 2006. Биотехнология ускоренной аэробной переработки навоза и ее аппаратное оформление / отв. ред. А.И. Еськов // *Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 298–301.*
- Еськов А.И., Рябков В.В. 2002. Перспективные технологии использования органических удобрений / отв. ред. А.И. Еськов // *Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии: материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 20-летию ВНИПТИОУ. М.: РАСХН – ВНИПТИОУ. С. 62–74.*
- Злочевский Ф.И., Аксенов А.В., Тысленко А.М., Тарасов С.И. 2006. Новая биотехнология переработки навоза, помета / отв. ред. А.И. Еськов // *Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 74–76.*
- Иванов А.А., Матросова Л.Е., Трemasов М.Я. 2013. Получение и применение биоудобрения на основе птичьего помета // *Доклады РАСХН. № 4. С. 28–30.*
- Ишкаев Т.Х., Трemasов М.Я. 2006. Эффективная технология переработки птичьего помета / отв. ред. А.И. Еськов // *Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 79–81.*
- Ковалев А.А., Ковалев А.А. 2006. Получение биогаза и перспективы снижения расхода воды в системах утилизации навозных стоков на полях орошения / отв. ред. А.И. Еськов // *Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 91–96.*
- Ковалев А.А., Романюк В. 2002. Анаэробная обработка жидкого навоза в технологиях приготовления органических удобрений / отв. ред. А.И. Еськов // *Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии: материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 20-летию ВНИПТИОУ. М.: РАСХН – ВНИПТИОУ. С. 168–173.*
- Ковалев Н.Г., Барановский И.Н. 2006. Органические удобрения в XXI веке (Биоконверсия органического сырья): Монография. Тверь: Чудо. 304 с.
- Ковалев Н.Г., Малинин Б.М., Туманов И.П. 1997. Способ приготовления компоста многоцелевого назначения. Патент РФ № 2112764.
- Кузнецов Е.В., Полторак Я.А., Хаджиди А.Е. 2010. Способ получения вермикомпоста. Патент РФ № 2402510. Бюл. № 30.

- Кулагина Е.М., Егоров С.Ю., Азизов С.А., Барабанов В.П. 2008. Способ биологической переработки птичьего помета. Патент РФ № 2322427. Бюл. № 11.
- Лужков Ю.М., Джафаров А.Ф., Лужков С.М. 2003. Способ переработки органических отходов. Патент РФ № 2214990. Бюл. № 30.
- Лукьяненко И.И. 1985. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья). М.: Россельхозиздат. 176 с.
- Марченко А.Ю., Серга Г.В. 2015. Устройство для сушки куриного помета. Патент РФ № 2569570. Бюл. № 33.
- Могилевцев В.И., Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Васильев Э.В., Субботин И.А., Чернин С.Я., Парубец Ю.С., Гарзанов А.Л. 2012. Утилизация навоза / помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области. / под ред. В.И. Могилевцева. СПб.: СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 237 с.
- Молчанов В.П., Сульман М.Г., Сульман Э.М. 2015. Ресурсосберегающая биокаталитическая конверсия смесей органических отходов животного и растительного происхождения // *Актуальная биотехнология*. № 3(14). С. 68–69.
- Петраков А.Д., Радченко С.М. 2014. Кавитационный способ обеззараживания жидкого навоза и помета и технологическая линия для безотходного приготовления органоминеральных удобрений. Патент РФ № 2527851. Бюл. № 25.
- Потапенко И.А., Лепетухин М.В., Перекопский К.В., Гаркавый К.А., Харченко П.М. 2008. Устройство для обеззараживания навозных стоков. Патент РФ № 2332827. Бюл. № 25.
- Правдин В.Г., Бобрицкий Г.А., Толстой Н.И., Гермашев В.Г. 2009. Способ получения биокомпоста на основе сельскохозяйственных отходов, преимущественно подстилочного птичьего помета и навоза домашних животных, при аэробно-анаэробной ферментации (варианты). Патент РФ № 2374211. Бюл. № 33.
- Пузанков А.Г., Мхитарян Г.А. 2002. Опыт переработки твердой фракции бесподстилочного навоза, помета методом ускоренного компостирования / отв. ред. А.И. Еськов // *Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии: материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 20-летию ВНИПТИОУ*. М.: РАСХН – ВНИПТИОУ. С. 91–95.
- Рабинович Г.Ю., Ковалев Н.Г., Фомичева Н.В. 2007. Новый вид биологически активных средств: получение, состав, перспективы использования // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. № 3. С. 71–73.
- Серга Г.В., Филин К.В. 1995. Сушилка для куриного помета. Патент РФ № 2027130.
- Смирнов А.А., Шиганов О.Л. 2003. Способ получения биогумуса. Патент РФ № 2205163. Бюл. № 2.
- Солдатова В.В., Большаков В.Н., Прокопьева В.И., Грудина Т.Н., Никонов И.Н., Новикова Н.И., Лаптев Г.Ю. 2013. Способ биологической переработки отходов животных / способ утилизации свежего куриного помета. Патент РФ № 2491264. Бюл. № 24.
- Степанова Л.П., Половицков В.А., Таракин А.В., Коренькова Е.А. 2009. Способ получения вермикомпоста. Патент РФ № 2363689. Бюл. № 22.
- Суховеркова В.Е. 2016. Способы утилизации птичьего помета, представленные в современных патентах // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. № 9(1473). С. 45–55.
- Терещенко Н.Н., Кравец А.В. 2016. Способ получения вермикомпоста, способ получения стимулятора роста зерновых из вермикомпоста. Патент РФ № 2574740. Бюл. № 4.
- Тремасов М.Я., Матросова Л.Е., Иванов А.А., Титова В.Ю., Иванов А.В., Тремасова А.М., Семенов Э.И. 2014. Способ микробиологической переработки птичьего помета. Патент РФ № 2522523. Бюл. № 20.
- Триандафилов А.Ф., Федюк В.В. 2011. Устройство для приготовления беззараженного дегельминтизированного удобрения. Патент РФ № 2422415. Бюл. № 18.
- Тюрин В.Г. 2004. Экологически безопасные способы обеззараживания и утилизации отходов в животноводстве и птицеводстве // *Состояние и проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии в животноводстве: материалы межд. науч.-практ. конф. Чебоксары: Чувашская государственная с/х академия*. С. 122–125.
- Федоров А.Б., Кулагина Е.М., Титова В.Ю. 2012. Способ биологической переработки птичьего помета. Патент РФ № 2445295. Бюл. № 8.
- Ферментация: сборник научных статей. 1974. / отв. ред. Д.А. Креслина. Рига: Зинатне. 238 с.
- Фисинин В.И., Архипченко И.А., Попова Э.В., Солнцева И.Э. 1999. Использование птичьего помета для получения микробных удобрений с полифункциональными свойствами // *Доклады Россельхозакадемии*. № 2. С. 32–34.