

ГОСТЬ НОМЕРА

УДК 504.06

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕУТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ



Филиппова Ася Вячеславовна, заведующий кафедрой биологии, природопользования и экологической безопасности, Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург
e-mail: kassio-67@yandex.ru

Аннотация. Понятие отходы является в основном пугающим термином, которое не позволяет воспринимать его как экологически благополучное, но при этом если мы назовем словом «неиспользованное сырье», то отношение сразу меняется. В статье предлагаются к обсуждению результаты исследования использования не токсичных отходов как органосодержащих, так и минеральных в агроэкосистемах. Приводятся данные серии экспериментов по разработке биоконверсии ряда отходов. Разрабатываются методологические основы оценки отхода для возможности использования определенных биоагентов и алгоритм проведения биоконверсии.

Ключевые слова: отходы, биоконверсия, вермикомпостирование, биоагенты, продуктивность агроэкосистем.

Для цитирования: Филиппова А. В. Методологические подходы и экологические аспекты реутилизации отходов // Шаг в науку. – 2022. – № 3. – С. 5–11.

METHODOLOGICAL APPROACHES AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF WASTE RECYCLING

Filippova Asya Vyacheslavovna, Head of the Department of Biology, Nature Management and Environmental Safety, Orenburg State Agrarian University, Orenburg
e-mail: kassio-67@yandex.ru

Abstract. The concept of waste is basically a frightening term that does not allow us to perceive it as environmentally friendly, but at the same time, if we call the word “unused raw materials”, then the attitude immediately changes. The article proposes for discussion the results of a study of the use of non-toxic waste, both organic and mineral in agroecosystems. The data of a series of experiments on the development of bioconversion of a number of wastes are presented. Methodological bases for waste assessment for the possibility of using certain bioagents and an algorithm for bioconversion are being developed.

Key words: waste, bioconversion, vermicomposting, bioagents, productivity of agroecosystems.

Cite as: Filippova, A. V. (2022) [Methodological approaches and environmental aspects of waste recycling]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 3, pp. 5–11.

Одним из наиболее прогрессивных направлений снижения негативного антропогенного влияния на качество ресурсов биосферы является разработка замкнутых систем оборота нетоксичных видов отходов. В этой связи большой практический интерес представляет разработка технологических приемов

по увеличению биоресурсного потенциала растений, почвенных беспозвоночных, микробной биомассы гетеротрофных организмов при эффекте реутилизации отходов.

Отходы можно рассматривать с нескольких позиций, во-первых, это один из существенных

источников загрязнения, во-вторых, это недоиспользованное сырье, которое можно подвергнуть реутилизации. Один из основных моментов этого процесса – возможность управления отходами с помощью организмов-редуцентов. Хорошо известный факт непрерывности существования естественных экосистем как симбиоз автотрофного и гетеротрофного биологического сообщества. Практически все процессы разложения контролируются различными представителями мезо- и микрофауны, которые эволюционируют вместе с эволюцией веществ и материалов, используемых человечеством. Примером может служить сохранность орудий труда в железном веке. Мы находим орудия из железа, датированные VI—IV тысячелетия до н. э., но практически не видим хорошо сохранившихся следов металлических изделий конца восемнадцатого века, идет активная биологическая коррозия, за счет появившихся в процессе эволюции микроорганизмов. Значит, мы в своих изобретениях новых материалов должны параллельно искать биоагентов, которые потенциально могут стать разрушителями, чтобы не происходило накопления отходов. Поэтому в концепции устойчивого развития есть блок обязательности создания концепции ресурсных циклов, которые должны охватывать все стадии превращений и перемещений используемого вещества природы.

Исходя из этого, важно вести регулярный мониторинг отходов, по условиям их формирования, а также предложить шкалу оценки нетоксичных отходов возможных к задействованию в ресурсный цикл, разработать приемы переработки и рекомендации по вторичному использованию.

Цель нашей работы заключается в разработке стратегии использования нетоксичных видов отходов и задействования их в повторном использовании в агроценозах.

На примере оценки ряда отходов: Оренбургского газоперерабатывающего завода – цеолитов; золы, накопившейся после сжигания подсолнечниковой лузги – отходов маслосточного производства Оренбургского маслосточного завода; осадков сточных вод с накопительных иловых площадок Очистных сооружений «Газпромэнерго»; навоза различного вида сельскохозяйственных животных; помета некоторых видов птиц; отходов растениеводства, грибоводства, деревообработки, мы разработали наиболее эффективные приемы их использования, а также провели ряд экспериментов по отработке приемов утилизации органосодержащих отходов методом вермикомпостирования. На основании исследований предложили общую схему оценки отходов и их применения.

Проведенный анализ структуры отходов Российской Федерации показал, что объем органосодержащих отходов достигает 750 млн т в год, из которых

80% приходится на продукты лесного и сельского хозяйства и 20% – на бытовые отходы. К категории органических отходов, пригодных для биологической утилизации, относятся солома (до 160 млн т), животноводческие отходы (более 80 млн т), осадки сточных вод (3,5 млн т в пересчете на обезвоженную массу), отходы маслосточной и крупяной промышленности и др.

Комплексный анализ изучаемых отходов позволил поставить их в класс нетоксичных отходов, что дает возможность реутилизировать их за счет биотутилизации. Например, из-за ряда ограничений по внесению навоза напрямую в почву мы можем провести их трансформацию за счет дождевых червей, такой опыт в России уже широко распространен [1]. В нем есть все необходимое для жизнедеятельности дождевых червей как по содержанию азота, фосфора и калия (сумма NPK 1,45% от сухого вещества), так и симбиотические микроорганизмы, позволяющие червякам активно переваривать массу.

Отходы растениеводства (подсолнечниковая лузга, отходы грибоводства), как правило, из-за высокого содержания лигнина не могут использоваться непосредственно в почву, поэтому их химический состав надо видоизменить, но, как показал опыт, этот вид отхода не приемлем непосредственно для вермикомпостирования, и поэтому требуют предварительной биоконверсии для создания свойств, соответствующих условиям жизнедеятельности червей [6]. Зола, полученная при сжигании подсолнечниковой лузги, характеризуется широким спектром микро- и макроэлементов, за исключением азота, и в принципе может использоваться напрямую в почву, но возникает ряд осложнений, связанных с повышением щелочности почвенного раствора, и этот факт требует выявления приемлемых доз внесения.

Обезвоженные осадки сточных вод длительных сроков хранения, пригодные для биотутилизации, имеют высокое содержание органического вещества (36%), азота (2,2%), фосфора (1,3%) и обладают благоприятными физическими показателями, но при этом могут отличаться повышенным содержанием металлов [4].

Цеолиты с разных месторождений характеризовались плотностью 0,96-1,07 г/см³, высокой общей скважностью (57-62%) и активными ионообменными свойствами, что предопределяет возможность их использования в качестве субстратов для гидропоники.

На основании изучения комплекса свойств отходов к перспективным методам их биологической переработки следует отнести:

- вермикомпостирование, которое изменяет качественный состав отходов до уровня, отвечающего агроэкологическим требованиям, на органические удобрения;

– биокomпостирование подсолнечниковой лузги и аналогичных отходов с использованием препаратов типа «Байкал» и «Компост»;

– непосредственное внесение нетоксичных органосодержащих и минеральных отходов в почву для биологической их утилизации под воздействием почвенной биоты;

– создание субстратов для гидропоники на основе минеральных отходов газоперерабатывающей промышленности (цеолитов) путем обогащения их минеральными добавками, создающими условия для интенсификации продукционных процессов высших растений.

При вермикомпостировании животноводческих отходов необходимо создавать сбалансированные субстраты из различных видов навоза, оптимизируя при этом кислотность, соотношение питательных элементов, необходимых червям. Серия опытов позволила выявить наиболее приемлемые сочетания свиного, конского и навоза крупного рогатого скота. По сравнению с одновидовыми субстратами смесь из навоза КРС и свиного позволила улучшить условия, в которых биомасса червя увеличилась, и на ложе размером $1 \times 2 \times 0,3$ м, в смешанном субстрате из КРС и свиного навоза она возросла до 5,7 кг, или на 26,7 и 29,5%. При смешивании навоза КРС и свиного улучшались химические и физические свойства субстрата, способствующие развитию популяции калифорнийского гибрида красного дождевого червя рода *Eisenia foetida*. Хорошее самочувствие червей, выразившееся в быстром приросте биомассы, позволило, в свою очередь, переработать и больше отходов за меньший срок [3].

Серия опытов по разработке норм плотности посадки червей в так называемое ложе (стандарт в вермикомпостировании) позволила выявить оптимальные. Опыты показали, что при вермикомпостировании количество переработанного субстрата за время ротации находилось в прямой зависимости от численности вермиккультуры и скорости переработки субстрата каждой особью. Высокая плотность посадки (50000 шт. на стандартное ложе) позволила сократить время на переработку субстрата, но ожидаемого большого прироста численности червей не дала. При уплотненности популяции быстро подрываются ресурсы среды, появляется недостаток пищи, пространства, что ведет к общему ослаблению популяции, увеличивая смертность. При снижении плотности посадки до 10000 шт. и 14000 шт. (в зависимости от вида субстрата) червей на стандартное ложе отмечалось более интенсивное размножение изучаемой популяции. Сильно разреженная популяция (плотность посадки 4000 червей на ложе) затрудняла внутривидовую встречу особей, и соответственно – рост численности популяции, что удлиняло период переработки компоста с 90 до 97–98 дней.

Такой способ переработки, как вермикомпостирование повысило удобрительную ценность исходного сырья, увеличив в лучших вариантах – в субстратах из навоза КРС его смеси со свиным – содержание фосфора в 1,8–2,4 раза, кальция – на 32,5–39,9%, оптимизируя соотношения C: N до 11–13. В процессе вермикомпостирования в субстрате снижалось содержание свинца, цинка и никеля, за счет накопления этих металлов в теле червей.

Готовые вермикомпосты, полученные из различных видов навоза, характеризовались хорошими физическими свойствами. Объемная масса составляла 0,66–0,68 г/см³, содержание водопорочных агрегатов находилось в пределах от 83% в вермикомпосте из свиного навоза, до 99% – из конского. Оценка микробиологической активности показала, что наибольшее количество микроорганизмов, деппанирующих органический азот, наблюдалось в конском навозе и в его смеси с другими видами.

Серия опытов по возможности использования в цепочке биоконверсии вермикомпостов в составе почвогрунта в условиях теплицы, показала его преимущество перед традиционными наполнителями, которые в обязательном порядке добавляются в основу почвогрунтов. Вермикомпосты обеспечили достоверную прибавку урожая перца, огурцов в теплице на 45%. За счет внесения вермикомпоста удлинился срок использования почвогрунта с 1 года до 3 лет, что имеет важное значение не только для рентабельности внесезонной овощной продукции, но и экологической позиции – сохранения почв.

Процесс биоконверсии целлюлозосодержащих отходов (на примере подсолнечниковой лузги), в процессе эксперимента, был выстроен из расчета использования биоагента, способного разрушать целлюлозу. В серии опытов мы пришли к алгоритму, когда воздействие грибного мицелия гриба вешенки на массу субстрата, последующего влияния на измельченный и обогащенный аммонийным азотом субстрат, воздействие консорциумов микроорганизмов в препаратах типа «Байкал» и «Компост», привело к разложению целлюлозы на гемицеллюлозу и более простые соединения. В частности, на 20 день после применения препаратов содержание минерального азота в субстратах повысилось с 0,88% сухого вещества на контроле до 1,99–2,06% в вариантах с использованием препаратов. В вариантах с двумя компостирующими препаратами «Байкал» и «Компост», в сравнении биологических процессов деструкции органических веществ, показало аналогичность воздействия этих препаратов.

Биоконверсия минерального вещества – золы путем ее применения в качестве удобрения показала, что внесение её в дозах 3–6 ц/га под картофель в полевых условиях и 300 г/кв. м под томаты в защищенном грунте вызвало существенное повышение урожайности культур и улучшения качества

продукции, без изменения рН. Серия опытов с совместным внесением золы с вермикомпостом, а также с биопрепаратами (фосфоробактерин, азотобактерин, силикатобактерин), позволило улучшить условия для восприятия микроэлементов и повысило урожайность.

Серия опытов с использованием цеолитов позволила вовлечь их в биоконверсию при использовании в качестве субстратов для гидропоники. Ряд исследователей изучали способность цеолитов встраиваться в почвенные системы [2]. Наши исследования показали целесообразность обогащения их минеральными веществами в различных сочетаниях, с учетом потребности овощных культур и ионообменной способности цеолитов. При сравнении цеолитов разных месторождений (Сокирницкого и Тедзамского) оказалось, что эффективность их использования в качестве ионообменных субстратов зависела не только от их водно-физических, физических и ионообменных свойств, но и от способов обогащения их минеральными веществами. В связи с этим изменялось влияние цеолитов на использование растениями питательных веществ. В этих условиях наибольшую продуктивность плодовой массы томатов обеспечило обогащение минеральными веществами сокирницкого цеолита по сравнению с тедзамским.

Серия опытов с обезвоженными осадками сточных вод, долгих сроков хранения в прямом внесении в почву, позволило установить их эффек-

тивность и выбрать оптимальные дозы. Отмечено увеличение численности почвенных организмов, находящейся в достоверной корреляционной зависимости от доз внесения ОСВ ($r > 0,7$). О положительном влиянии на почвенную фауну свидетельствует увеличение ее видового разнообразия [5], подтверждаемое расчетными индексами Макинтоша, показывающего меру разнообразия. В варианте с внесением обезвоженного осадка в дозе 40 т/га индекс макинтоша равнялся 39,33, в варианте с дозой ОСВ 60 т/га – 44,66, с дозой ОСВ 80 т/га составила 43,02 при индексе на контроле 31,92. Индекс разнообразия Шеннона составлял соответственно 3,25; 3,32 и 3,31 по сравнению с контролем 3,19. Вероятность межвидовых встреч, рассчитанная нами с помощью индекса Симпсона, имеет наибольшее значение в варианте с дозой внесения ОСВ 80 т/га, и составила 0,89.

На основе этих исследований можно конкретизировать рекомендации: для биоэкологической оптимизации использования нетоксичных отходов и вовлечения их в биоконверсию предлагается провести их оценку по алгоритму (рисунок 1):

- определение физических, химических, биологических и экологических свойств отходов;
- выбор оптимальных условий и методов биологической утилизации отходов;
- контроль за процессами биоконверсии и их корректировка для получения высококачественного, экологически безопасного конечного продукта.

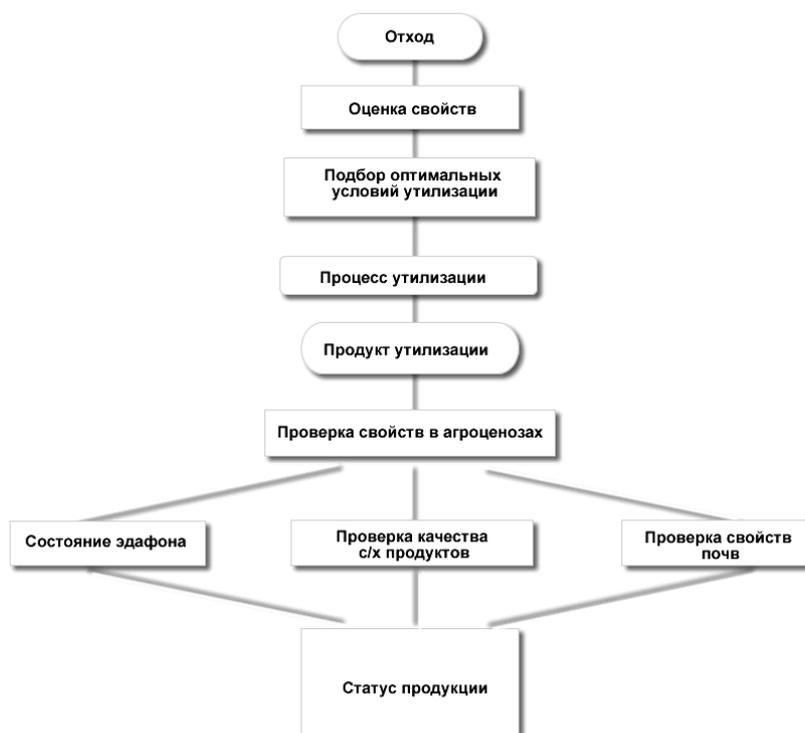


Рисунок 1. Блок-схема для определения статуса конечного продукта, полученного из отхода

Источник: разработано автором

Одним из способов переработки органосодержащих отходов рекомендуется их вермикомпостирование при помощи калифорнийского гибрида красного дождевого червя с использованием в качестве исходного сырья навоза КРС и его смеси со свиным навозом с соотношением 1:1. Для увеличения срока эксплуатации тепличных почвогрунтов включить в его состав 30% вермикомпоста. Для биологической утилизации обезвоженных сточных вод влажностью около 50% целесообразно их применение в качестве удобрения в открытых агроэкосистемах в дозе до 60 т/га при строгом экологическом мониторинге за состоянием среды и продукцией. Эффективная биологическая конверсия целлюлозосодержащих сельскохозяйственных отходов (подсолнечниковая лузга и т.п.) должна заключаться в трехэтапной их переработке: под воздействием гриба вешенки, механическом из-

мельчении и последующем микробиологическом компостировании с использованием биопрепаратов типа «Байкал».

Проведенные исследования по биоконверсии разных видов отходов позволили разработать алгоритм их биологической утилизации в агроэкосистемах. Согласно алгоритму, на первом этапе определяются физические, химические, биологические и экологические свойства отходов, что позволяет на втором этапе выбирать оптимальные условия и методы их утилизации. На третьем этапе осуществляется контроль за процессами биоконверсии и их корректировка для получения высококачественного, экологически безопасного конечного продукта. Данный алгоритм применим для биологической утилизации любых видов нетоксичных отходов, как в открытых, так и закрытых агроэкосистемах (рисунок 2).



Рисунок 2. Алгоритм проведения биологической утилизации и использования отходов
 Источник: разработано автором

Таким образом, на основе исследований по использованию отходов во вторичном цикле хозяйственной деятельности предложена методология управления процессом биологической утилизации, разработаны основные критерии биоэкологической оценки отходов для применения в качестве удобрений. Определены ресурсы сырья для биологической утилизации нетоксических отходов и разработаны алгоритмы биологической переработки с использованием редуцирующих организмов, включая вермикультуру. Проведена оценка изменения свойств масс отходов по этапам биологической утилизации. Показано, что при вермикомпостировании оптимизация рецептуры субстратов, создаваемых на основе сельскохозяйственных отходов, улучшает

популяционную структуру *Eisenia foetida*. Отмечен повышенный адаптивный потенциал дождевых червей, используемых в качестве «пробников». Экспериментальным путем установлена оптимальная плотность заселения вермикультурой субстратов, приготовленных из различных видов навоза.

При трансформации органических отходов отмечены особенности формирования сукцессий микро- и мезофауны.

При оценке биологической полноценности растительной продукции выявлены основные биологические барьеры, переход тяжелых металлов из вермисубстратов.

Показано, что межпопуляционное взаимодействие микро- и мезофауны играет важную роль

при трансформации органической массы отходов. Поэтому при биологической утилизации отходов предложено создавать условия для доминирования видов, оказывающих наибольшее влияние на качество конечного продукта. Для своевременной корректировки управления процессом биологической утилизации предложено ввести расчет индек-

са видового разнообразия.

Приоритетно выявлены особенности формирования экологических групп почвенных организмов в зависимости от доз внесения сухого осадка сточных вод. Предложено считать их видовое разнообразие мерой оценки состояния биогеоценозов.

Литература

1. Лящев А. А., Прок И. А. Характеристика развития популяций дождевых компостных червей в субстрате из городских органических остатков // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020 – № 11 – 1 (101). – С. 154–158.
2. Постников А. В., Илларионова Э. С. Использование цеолитов в растениеводстве // Агрехимия. – 1990. – № 7. – С. 113–125.
3. Филиппова А. В., Кононенко С. И. Изучение способов подготовки подсолнечной лузги к скармливанию вермикультуре // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2009 – № 19 – С. 189–192. EDN: KVLOBH.
4. Филиппова А. В., Мелько А. А. Влияние осадков бытовых сточных вод на видовое разнообразие почвенных организмов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009 – № 6 – С. 633–635. EDN: MNKVQR
5. Филиппова А. В., Мелько А. А. Сукцессии беспозвоночных в агробиоценозе использовании осадков сточных вод // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008 – № 12(94). – С. 81–85. EDN: VZPQEN.
6. Эколого-агрехимические свойства и эффективность верми- и биокомпостов: монография / В. Г. Сычев [и др.]. – М.: ВНИИА. – 2007 – 276 с.

Информация об авторе:

Ася Вячеславовна Филиппова, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой биологии, природопользования и экологической безопасности, Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

РИНЦ Author ID: 120657, **ORCID ID:** 0000-0003-2665-5673, **Web of Science Researcher ID:** GOP2889-2022

e-mail: kassio-67@yandex.ru

Филиппова Ася Вячеславовна выбрала свой путь в науку еще на 4 курсе университета, активно участвуя в сортоиспытаниях новых селекционных сортов кабачков цуккини под руководством академика ВАСХНИЛ Тараканова Германа Ивановича.

Ася Вячеславовна 33 года работает в Оренбургском государственном аграрном университете. Начинала с должности старшего лаборанта и прошла все этапы профессионального роста. На сегодняшний день она является заведующим кафедрой биологии, природопользования и экологической безопасности. Защитила докторскую диссертацию по экологии и стала доктором биологических наук, профессором. За годы работы в вузе показала себя активным организатором студенческих научных коллективов. Возглавляла работу студенческого научного общества, студенческого конструкторского бюро.

Филиппова А. В. и ее ученики становились неоднократными победителями Российских студенческих олимпиад, получали золотые и серебряные медали ВВЦ, одерживали победы на выставках НТТМ, в конкурсах на лучшую студенческую работу вузов Минсельхоза. Ася Вячеславовна стала победителем РосАгроБот и участвовала в выставке Агросалон-2016.

Она организовала школу научного потенциала, в работе которой принимают участие талантливые школьники и студенты г. Оренбурга, ставшие неоднократными победителями российских мероприятий.

Создала трудовой отряд «Экоспас», который в 2007 году получил грамоту Президента за работу в области защиты среды обитания. С 2000 года является организатором областной научной олимпиады для учащихся и студентов начального и среднего профессионального образования.

Под ее руководством были защищены кандидатские диссертации по агрономическим, биологическим и экологическим исследованиям, а также дипломные проекты и работы более, чем 200 обучающимися.

Филиппова А. В. на протяжении трудовой деятельности совершенствовала свой педагогический опыт, неоднократно участвовала в конкурсах профессионального мастерства. Опубликовала около 200 научных и методических работ, 5 монографий.

Является экспертом, аккредитованным в Российском Федеральном реестре экспертов научно-технической сферы. Активно занимается научной деятельностью по проблемам управления биологическими ресурсами, разработкой безотходных технологий и рекультивацией нарушенных земель. За многолетний добросовестный труд в системе подготовки кадров для агропромышленного комплекса Ася Вячеславовна награждена грамотами, благодарственными письмами Министерства сельского хозяйства, пищевой и перерабатывающей промышленности Оренбургской области, именным знаком Министерства образования и науки Российской Федерации «За развитие научно-исследовательской работы студентов».

Статья поступила в редакцию: 28.07.2022; принята в печать: 25.08.2022.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.