

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.123>**ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ В БИОМАССУ И ЭФФЕКТИВНОЕ СОКРАЩЕНИЕ *SALMONELLA SPP.* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ (*HERMETIA ILLUCENS L.*)**

Научная статья

Лящев А.А.^{1,*}, Коваль Е.В.², Прок И.А.³, Валов Н.А.⁴, Турсумбекова Г.Ш.⁵, Лящева Л.В.⁶¹ ORCID : 0000-0002-3761-7587;² ORCID : 0000-0003-3179-1557;³ ORCID : 0000-0002-8267-3668;⁴ ORCID : 0000-0002-4812-5940;⁵ ORCID : 0000-0003-4677-5277;⁶ ORCID : 0000-0002-9266-8707;^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lyaschevaa[at]gausz.ru)

Аннотация

Переработка биологических отходов в России в настоящее время пока не эффективна. В результате этого происходит загрязнение воды и почвы и потери биоудобрений для сельскохозяйственных культур. Эффективным решением переработки органических отходов является использование насекомых. В наших исследованиях нами использовалась черная львинка для переработки куриного помета в белково-липидную муку на корм различных животных и зоогумус, как биоудобрения для растений. Исследования проводили в течение года на нескольких поколениях насекомого. Нами проведен анализ физико-химических и микробиологических параметров, а также оценены санитарно-гигиенические возможности использования личинок и зоогумуса. Установлено, что разложение материала отходов составило 65,7%, а коэффициент преобразования отходов в биомассу на основе общего количества сухих веществ в системе непрерывного компостирования с личинками черной львинки и бактерий биогуруса – 8,9%. Отмечены более высокие уровни азота и фосфора в кормовых остатках, чем в курином помете. Анализ показал более низкую концентрацию *Salmonella spp.* и других патогенов. Переработка биоотходов личинками черной львинки является высокоэффективной конверсией различных веществ.

Ключевые слова: черная львинка, переработка органических веществ, производство белково-липидного корма, санитарно-гигиенические возможности насекомых, управление переработкой отходов.

RECYCLING WASTE INTO BIOMASS AND EFFECTIVE REDUCTION OF *SALMONELLA SPP.* USING THE BLACK SOLDIER FLY (*HERMETIA ILLUCENS L.*)

Research article

Lyashchev A.^{1,*}, Koval Y.V.², Prok I.A.³, Valov N.A.⁴, Tursumbekova G.S.⁵, Lyashcheva L.V.⁶¹ ORCID : 0000-0002-3761-7587;² ORCID : 0000-0003-3179-1557;³ ORCID : 0000-0002-8267-3668;⁴ ORCID : 0000-0002-4812-5940;⁵ ORCID : 0000-0003-4677-5277;⁶ ORCID : 0000-0002-9266-8707;^{1, 2, 3, 4, 5, 6} State Agrarian University of the Northern Urals, Tyumen, Russian Federation

* Corresponding author (lyaschevaa[at]gausz.ru)

Abstract

The recycling of biological waste in Russia is not yet effective. This results in water and soil contamination and losses of bio-fertilizer for crops. An effective solution for organic waste recycling is the use of insects. In our research, we used black soldier flies to recycle chicken droppings into protein-lipid flour for the fodder of various animals and zoohumus as a bio-fertilizer for plants. Studies were conducted over a year on several generations of insects. We analysed physico-chemical and microbiological parameters and evaluated the sanitary and hygienic possibilities of using larvae and zoohumus. It was found that the decomposition of waste material was 65.7%, and the conversion factor of waste into biomass based on total dry matter in the system of continuous composting with black soldier fly larvae and bacteria biohumus was 8.9%. Higher levels of nitrogen and phosphorus in fodder residues than in chicken manure were observed. Analysis showed lower concentrations of *Salmonella spp.* and other pathogens. Biowaste recycling by black soldier fly larvae is a highly efficient conversion of various substances.

Keywords: black soldier fly, organic matter recycling, protein-lipid fodder production, insect sanitary and hygienic capabilities, waste management.

Введение

Значительная часть твердых отходов состоит из органических материалов, например, пищевых отходов, навоза животных. Если их не перерабатывать, то органические вещества, содержащиеся в отходах, будут способствовать

увеличению выбросов парниковых газов и вымыванию органических веществ в водоемы, вызывая их эвтрофикацию. Кроме того, существует риск распространения патогенных микроорганизмов, содержащихся в органических отходах.

Доля органических отходов составляет около 30% от общего объема твердых отходов, и лишь небольшая часть питательных веществ возвращается в пищевой цикл [1]. Это вызывает растущее опасение, поскольку круговороты азота и фосфора определяются как ключевые факторы, которые необходимо поддерживать на определенных уровнях, чтобы планета могла поддерживать существование человека в будущем [2]. В докладе Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций (ФАО) было указано, что потребление насекомых в пищевом секторе в качестве корма для животных и непосредственно для потребления человеком является одним из таких решений [3].

Особый интерес представляет насекомое черная львинка, распространенная между 46° северной широты и 42° южной широты [4]. Известно, что она способна перерабатывать огромное количество органических отходов. Личинки черной львинки потребляют и разлагают ряд органических материалов с деградацией материала до 70% [5]. Личинки на последней личиночной стадии предкуколки, выползают из питательного материала, чтобы найти сухое и темное место для окукливания [6].

Предкуколки могут содержать более 40% белка и 30% жира и являются хорошим альтернативным кормом для рыбы [7] и свиней [8], с хорошей возможностью замены рыбной и соевой муки в качестве источника белка в кормах для животных. С увеличением потребления рыбы и мяса спрос на кормовой белок для животных значительно возрастает, в то время как его доступность становится ограниченной. При производстве ценного продукта и утилизации отходов повысится эффективность повторного использования ресурсов и снизится негативное воздействие на окружающую среду.

Санитарно-гигиенические аспекты играют важную роль при обращении с органическими отходами и кормами для животных [9]. В некоторых исследованиях показано, что системы очистки органических отходов при помощи личинок черной львинки, удаляют бактерии семейства *Enterobacteriaceae*. Численность *Salmonella spp.* была снижена личинками мух [10]. Erickson et al. [11], наблюдали снижение численности *Salmonella enterica*, серовара *Enteritidis* и кишечной палочки *E. coli* в навозе крупного рогатого скота, в то время как Liu et al. [12] сообщили о снижении численности кишечной палочки *E. coli* в птичьем помете. Однако, несмотря на то, что происходило увеличение количества бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, уменьшения других микроорганизмов не наблюдалось. Одна из гипотез состоит в том, что культивирование в течение длительного периода будет способствовать накоплению микробного сообщества, помогая расщеплять отходы и, таким образом, улучшать санитарно-гигиенические параметры остатков переработки.

Цель исследования – изучение переработки органических отходов личинками черной львинки с непрерывным потоком и анализ важнейших технологических и санитарно-гигиенических параметров с целью оценки деградации материала и снижения количества патогенов в белково-липидном корме.

Материалы и методы

2.1 Материалы

Куриный помет был собран на птицефабрике в Тюменском районе Тюменской области и хранился при температуре -20°C сразу после сбора. Корм для несушек, смешанный с водой (31,7±0,2% общего количества сухих веществ), использовали в качестве модельного субстрата для органических отходов. Была приготовлена смесь куриного помета, корма для несушек (4:2; 32,7±1.2 % общее количество сухих веществ), которую разделяли на порции для подачи и выдерживали при температуре -20°C до использования. Перед началом использования смесь размораживали до комнатной температуры и разводили водой с 10% экстрактом зоогуруса до влажности 75-80%. Смесь в течение суток стояла в термостате при температуре 35°C.

Насекомые принадлежали к колонии, выращиваемой в лаборатории промышленной энтомологии Государственного аграрного университета Северного Зауралья, созданной на основе личинок. Колонию поддерживали при температуре 26±0,5°C, относительной влажности 65-75% и фотопериоде 16:8 L:D ч. Личинок выращивали на диете куриного корма для несушек, с добавлением равного объема воды, как было предложено Sheppard et al. [6]. Взрослых особей содержали в садках размером 700x600x600 мм и поили водой с тростниковым сахаром. Яйца черной львинки получали на четвертые сутки из колонии лаборатории промышленной энтомологии.

2.2 Проведение эксперимента

Стограммовые смеси куриного субстрата были помещены в три пластиковых контейнера размером 17.0x12.0x5.0 см. Десять граммов 5-дневных личинок были добавлены в каждый контейнер, расположенный случайным образом на полках в инсектарии при температуре 26±0,5°C с относительной влажностью 70-75% в темноте. Первая и последующие проверки проводились каждые 3 дня. При проверке контейнеров производили дополнительное кормление по 100 г субстрата. Предкуколки собирали вручную, взвешивали, а затем хранили в инкубаторе (26 ± 0,5 °C, влажность 65-75%, фотопериод 16:8 ч L:D) для последующей оценки взрослых особей по показателям: появление, выживаемость и эффективность размножения. Эксперимент был завершен, когда все личинки превратились в предкуколки, а затем во взрослых мух.

В качестве контроля десять граммов 5-дневных личинок выращивали на диете куриного корма для несушек, который добавляли в каждый контейнер.

2.3 Показатели сбора данных

Биоконверсию рассчитывали как количество потребляемого сухого вещества корма к количеству собранных личинок. Ниже рассчитан вес отдельных личинок, сокращение отходов и скорость биоконверсии в процентах. Переменные такие, как описано Zhou et al. [13]:

- а) вес личинок – это фактический вес (г) живых личинок после кормления;
- б) сокращение отходов – это процентное содержание отходов в пересчете на сухое вещество;

с) скорость биоконверсии – это количество сухого вещества, превращенного в личинки, выраженное в процентах.

Основные результаты

3.1 Преобразование органических отходов

Общий поток питательных веществ был оценен для процесса компостирования личинками мух. Было обнаружено, что около половины общего азота в поступающем материале выделялось в виде аммиака, в то время как около 9% было включено в биомассу личинок. Баланс расхода оценивался путем умножения концентрации общего фосфора для притока и оттока на соответствующую массу. Возможно, общая концентрация фосфора не была постоянной для всего выходящего материала.

Общее сокращение количества материала составило 65,7% в пересчете на общее количество сухого вещества. Из общего количества, поступившего субстрата для личинок мух, большая часть его превратилась в углекислый газ и воду, а около 8,9% было превращено в биомассу личинок.

Коэффициент превращения отходов в биомассу, равный 8,9%, на основе общего количества сухого вещества, включал только мигрирующих предкуколок. Шеппард и соавт. [14] сообщили об оптимальной степени конверсии 8% на основе общего количества твердых веществ в системе с низким уровнем обслуживания, работающей при температуре окружающей среды и преобразующей куриный помет в предкуколичную биомассу. Оптимальный коэффициент конверсии был отмечен для летнего периода, в то время как значительное снижение коэффициента конверсии происходило в осенне-зимний период, так как вероятно в это время происходили температурные колебательные процессы и дополнительные энергетические затраты. В хорошем соответствии с этим исследованием, проведенное Diener et al. [5], показало коэффициент конверсии 11,8% на общую твердую основу в смешанных органических отходах. Самый высокий показатель преобразования отходов в биомассу для личинок черной львинки, составляет 22,9 %, при этом человеческие фекалии были преобразованы в предкуколичную биомассу в мелкомасштабной системе, в которой десять личинок получали единовременную порцию материала [15].

Коэффициент конверсии субстрата резко снизился до 2,7% при единовременном скармливании 100 личинкам, в то время как при дополнительном кормлении с тем же количеством личинок, он составил в одном из вариантов более 14%. По-видимому, на коэффициент конверсии оказывают влияние несколько факторов. Смешанные биоотходы являются основным источником, но также существенную роль сыграла, по-видимому, температура, при которой работает система, плотность личинок и режим кормления.

В этом исследовании было также отмечено, что небольшая часть предкуколок не покинула контейнеры и они окуклились на сухой верхней части остатка. В связи с этим, при оптимизации системы можно было бы ожидать более высокого коэффициента конверсии отходов в биомассу предкуколок. Возможно заставить предкуколок покинуть контейнеры можно только при увеличении процентного содержания влаги в области оттока. Кроме того, субстрат с большей долей влаги даст более высокую степень конверсии.

Деградация субстрата из куриного помета составила более 50%, в соответствии с предыдущими данными о деградации различных видов навоза [16], [17]. Для других субстратов была достигнута более высокая степень разложения. Разложение на 70% по общему содержанию веществ было показано для смешанных органических отходов [5] и корма для кур [18], в то время как снижение на 75% по общему содержанию твердых веществ было продемонстрировано в фекальном осадке [10]. Более высокая степень разложения, наблюдаемая в этих исследованиях, вероятно, обусловлена более высоким процентом легкодоступного углерода.

В исследованиях было обнаружено, что общий фосфор концентрируется в отходящем остатке, т.е. в зоогумусе (3,7%), а это соответственно может уменьшить общий объем полевых работ во время внесения биоудобрений.

В процессе переработки куриного помета личинками черной львинки большая часть азота (в пределах 35%) выделяется, главным образом, в виде аммиака. Выделение аммиака регулируется аммонийно-аммиачным равновесием, которое, в свою очередь, зависит от рН и температуры [19].

Система переработки субстрата из куриного помета и синергетических бактерий биогумуса была запущена при 26°C. В результате рН изменился в течение двух недель работы личинок с рН 6,1 до рН 7,3. Как следствие, выделение аммиака может стать значительным в хорошо вентилируемых системах. Рекогносцировочные исследования систем обработки с личинками мух показали, что выбросы закиси азота (N_2O) были настолько малы, что ими можно пренебречь. Из общего количества азота в системе, вероятно, происходит некоторая его потеря, т.к. количество нитратов в системе было невелико, и процесс был относительно хорошо аэрирован за счет движения личинок. Несмотря на то, что значительная часть общего азота была потеряна, концентрация общего аммонийного азота была выше в остатке, чем в субстрате, тем самым повышая ценность остатков обработки в качестве удобрения по сравнению с необработанным материалом.

Таблица 1 - Эффективность процесса переработки куриного помета в зоогумус личинками черной львинки

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.126.123.1>

№	Наименование показателей	Куриный помет, %	Зоогумус, %
1	pH солевой суспензии	6,1±0,2	7,3±0,3
2	Массовая доля органического вещества	78,9±0,8	73,1±0,8
3	Массовая доля общего азота	5,9±0,3	3,6±0,3
4	Массовая доля общего фосфора	2,7±0,2	3,7±0,2
5	Массовая доля общего калия	1,9±0,1	2,3±0,1
6	Массовая доля золы	21,1±0,8	26,9±0,8
7	Массовая доля органического углерода	39,5±0,8	36,6±0,8

Примечание: представлены средние значения и стандартное отклонение (SD) трех повторностей для личинок мух

Исходный остаток, который может быть использован в качестве органического удобрения, содержал в пересчете на общее количество веществ $3,7 \pm 0,2\%$ общего фосфора и $3,6 \pm 0,3\%$ общего азота. Массовая доля органического вещества составила $73,1 \pm 0,8\%$ и массовая доля калия – $2,3 \pm 0,1$ (таблица).

3.2. Оценка эффективности личинок черной львинки в сокращении популяций *Salmonella spp.*

Личинки черной львинки могут значительно снизить популяцию *Salmonella spp.* в субстрате куриного помета ($p < 0,05$) по сравнению с контрольной группой. Сокращение популяции *Salmonella spp.* наблюдалось с 3-го по 9-й день. Этот эффект начали наблюдать с конца 2-го дня. Снижение численности *Salmonella spp.* было измерено через 7 дней после инокуляции личинок в субстрат куриного помета.

На седьмой день конверсии органических отходов популяция *Salmonella spp.* в субстрате была значительно сокращена личинками черной львинки. Однако *Salmonella spp.* по-прежнему показывала минимальное количество в субстрате на седьмой день, но на девятый она не была обнаружена. По сравнению с контрольной группой, где не были использованы личинки черной львинки и синергетические бактерии биогумуса, присутствие *Salmonella spp.* в течение восьми дней оставалось постоянным. Результаты исследований свидетельствуют о том, что личинки черной львинки могут значительно сократить популяцию *Salmonella spp.* в субстрате куриного помета.

Обсуждение

В этом исследовании нами изучалась способность личинок черной львинки уничтожать *Salmonella spp.* в субстрате куриного помета и определение роли ассоциированных бактерий в этом процессе. Различные штаммы патогенов, включая *Salmonella spp.*, были проанализированы в субстрате куриного помета после инокуляции личинок черной львинки. Определили, что личинки черной львинки могут уменьшать популяцию *Salmonella spp.* в субстрате куриного помета, а кишечные микробы, вероятно, могут усиливать способность личинок черной львинки противодействовать *Salmonella spp.* При анализе субстрата куриного помета было выявлено присутствие спорообразующих аэробных микроорганизмов рода *Bacillus*, стафилококков, эшерихий, сальмонелл и стрептококков. Между тем, после переработки субстрата куриного помета анализ таксономического состава показал, что личинки черной львинки могут эффективно очищать остатки субстрата и белково-липидный корм от стафилококков, эшерихий, сальмонелл и стрептококков.

Одна из задач в этом исследовании заключалась в том, что непрерывная переработка органических отходов может улучшить санитарно-гигиеническое качество продуктов, обработанных личинками мух, по сравнению с системой периодического действия, благодаря взаимодействию с улучшенным микробным и грибковым сообществом. Для бактерий и бактериофагов результаты согласуются с результатами для системы периодического действия, без увеличения снижения [10]. В некоторых исследованиях было обнаружено, что уменьшение количества бактериофагов было одинаковым в обработанных личинками и контрольных материалах, и, был сделан вывод, что на активность личинок это не влияет. Идентификация конкретных видов кишечной палочки не проводилась. Вероятно, что большая часть видов кишечной палочки, после обработки личинкой в материалах не обнаруживалась. Erickson et al. [11] продемонстрировали большее снижение численности *E. coli* при 27-31°C в курином помете, обработанном личинками мух, по сравнению со снижением численности, обнаруженном в навозе крупного рогатого скота. Содержание аммиака в курином помете значительно выше, чем в навозе крупного рогатого скота [20]. Хорошо известно, что аммиак токсичен для микроорганизмов, а концентрация аммиака увеличивается с повышением температуры [21].

Механизм, лежащий в основе снижения уровня сальмонеллы, наблюдаемого в этом исследовании, неизвестен. Choi et al. [22] обнаружили, что метанольные экстракты личинок черной львинки оказывают антибактериальное действие на изученные грамотрицательные бактерии, но такого эффекта на грамположительные бактерии не

наблюдалось. Авторы предположили, что антибактериальный эффект может быть обусловлен взаимодействием между бактериальной рибосомой или бактериальной клеточной стенкой и активным веществом. В исследовании Choi et al. [22] было отмечено снижение численности грамотрицательной сальмонеллы и некоторое снижение численности термотолерантных форм кишечной палочки, в то время как уменьшение численности грамположительного энтерококка не произошло.

Санитарно-гигиенические возможности, связанные с системой культивирования личинок насекомых

Минимальное время удерживания неизменяющегося материала в компосте с личинками мух составило два дня, в то время как влажное удерживание составляет более 30 дней. Этого времени хватало для инактивации зоонозных бактерий стафилококков, эшерихии, сальмонеллы и стрептококков, в то время как другие исследованные организмы переживали обработку личинками мух. У вирусов было установлено снижение на 2 log₁₀, тогда как яйца аскарид не были инактивированы/уничтожены [23]. Поэтому требуется системное управление переработкой органических отходов, обеспечивающее дополнительную безопасность для предотвращения распространения инфекций, например, выбор культур для удобрения и внесение удобрений в почву.

В наших исследованиях было показано, что численность зоонозных бактерий, таких как сальмонелла и других патогенов, была снижена в материале до такой степени, что их нельзя было обнаружить в собранных предкуколках. Многие зоонозные бактерии не тестировались, но в других исследованиях наблюдалось аналогичное снижение другой грамположительной бактерии, *E. coli* O157 [11] (Erickson et al., 2004). Поэтому уменьшение количества зоонозных бактерий, возможности распространения инфекций при кормлении животных, является способом управления с низким уровнем риска, а для сохранения и гигиенической безопасности необходима дальнейшая обработка кормовых добавок белково-липидной муки.

Заключение

Разложение материала составило 65,7%, а коэффициент преобразования отходов в биомассу на основе общего количества сухих веществ в системе непрерывного компостирования с личинками черной львинки и синергетических бактерий биогумуса – 8,9%. Оптимизация эффективности предварительной миграции может повысить коэффициент превращения отходов в биомассу. Большая часть азота выделяется в виде аммиака. Эти потери можно снизить за счет конденсации выходящего воздуха. В исходном материале увеличились концентрации, как фосфора, так и общего аммонийного азота. Обнаружено, что санитарно-гигиенические параметры качества материала повышаются при обработке личинками мух: численность *Salmonella spp.* были снижены в системе, в то время как уменьшение численности других изученных микроорганизмов было небольшим или незначительным. Было выявлено, что минимальное время удерживания является ключевым фактором для уменьшения количества патогенов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках проекта Министерства сельского хозяйства РФ № 082-03-2021-273

Funding

The work was carried out within the framework of the project of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation No. 082-03-2021-273

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Cordell D. The story of phosphorus: global food security and food for thought / D. Cordell, J.-O. Drangert, S. White // *Glob Environ Chang.* — 2009. — Vol. 19(2). — p. 292-305. — DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
2. Rockström J. A safe operating space for humanity / J. Rockström, W. Steffen, K. Noone et al. // *Nature.* — 2009. — Vol. 461(7263) — p. 472-475. — DOI: 10.1038/461472a.
3. Van Huis A. Edible Insects—Future Prospects for Food and Feed Security / A. Van Huis, J. Van Itterbeeck, H. Klunder et al. // *FAO Forestry Paper.* — 2013. — Vol. 171.
4. Martínez-Sánchez A. First record of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on human corpses in Iberian Peninsula / A. Martínez-Sánchez, C. Magaña, M. Saloña et al. // *Forensic Sci Int.* — 2011. — Vol. 206(1-3). — p. 76-78. — DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.10.021
5. Diener S. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae / S. Diener, N. Studt Solano, F. Roa Gutiérrez et al. // *Waste Biomass Valorization.* — 2011. — Vol. 2(4). — p. 357-363. — DOI: 10.1007/s12649-011-9079-1
6. Sheppard D.C. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) / D.C. Sheppard, J.K. Tomberlin, J.A. Joyce et al. // *J Med Entomol.* — 2002. — Vol. 39(4). — p. 695-698. — DOI: 10.1603/0022-2585-39.4.695
7. St-Hilaire S. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / S. St-Hilaire, C. Sheppard, J. Tomberlin et al. // *World Aquacult Soc.* — 2007. — Vol. 38(1). — p. 59-67. — DOI: 10.1111/j.1749-7345.2006.00073.x
8. Newton G.L. Dried *Hermetia illucens* larva meal as supplement for swine / G.L. Newton, C.V. Booram, R.W. Barker et al. // *J Anim Sci.* — 1977. — Vol. 44(3). — p. 395-400.
9. Sidhu J.P.S. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review / J.P.S. Sidhu, S.G. Toze // *Environ Int.* — 2009. — Vol. 35(1). — p. 187-201. — DOI: 10.1016/j.envint.2008.07.006

10. Lalander C. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)—from a hygiene aspect / C.Lalander, S. Diener, V.E. Magri et al. // *Sci Total Environ.* — 2013. — Vol. 458-460. — p. 312-318. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.033
11. Erickson M.C. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly / M.C. Erickson, M. Islam, C. Sheppard et al. // *J Food Prot.* — 2004. — Vol. 67(4). — p. 685-690
12. Liu Q. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure / Q. Liu, J.K. Tomberlin, J.A. Brady et al. // *Environ Entomol.* — 2008. — Vol. 37(6). — p. 1525-1530. — DOI: 10.1603/0046-225X-37.6.1525
13. Zhou F. Developmental and waste reduction plasticity of three black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures / F. Zhou, J.K. Tomberlin, L. Zheng et al. // *J. Med. Entomol.* — 2013. — Vol. 50. — p. 1224-1230.
14. Sheppard D.C. A value added manure management system using the black soldier fly / D.C. Sheppard, G.L. Newton, S.A. Thompson et al. // *Bioresour Technol.* — 1994. — Vol. 50(3). — p. 275-279. — DOI: 10.1016/0960-8524(94) 90102-3
15. Banks I.J. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation / I.J. Banks, W.T. Gibson, M.M. Cameron // *Tropical Med Int Health.* — 2014. — Vol. 19(1). — p. 14-22. — DOI: 10.1111/tmi.12228
16. Лящев А.А. Переработка куриного помета личинками черной львинки (*Hermetia illucens* L.) в условиях Северного Зауралья / А.А. Лящев, И.А. Прок, Е. В. Коваль и др. // *Международный научно-исследовательский журнал.* — 2022. — 11(125). — DOI: 10.23670/IRJ. 2022.125.118
17. Myers H.M. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairymanure / H.M. Myers, J.K. Tomberlin, B.D. Lambert et al. // *Environ Entomol.* — 2008. — 37(1). — p. 11-15. — DOI: 10.1603/0046-225X(2008) 37[11:DOBSFD]2.0.CO;2
18. Gobbi P. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) / P. Gobbi, A. Martinez-Sanchez, S. Rojo // *Eur J Entomol.* — 2013. — 110(3). — p. 461-468.
19. Emerson K. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature / K. Emerson, R.C. Russo, R.E. Lund // *J Fish Res Board Can.* — 1975. — 32(12). — p. 2379-2383. — DOI: 10.1139/f75-274
20. Paul J.W. Relationship between Volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries / J.W. Paul, E.G. Beauchamp // *Biol Wastes.* — 1989. — 29(4). — p. 313-318. — DOI: 10.1016/0269-7483(89)90022-0
21. Nordin A. Inactivation of *Ascaris* eggs in source-separated urine and feces by ammonia at ambient temperatures / A. Nordin, K. Nyberg, B. Vinnerås // *Appl Environ Microbiol.* — 2009. — 75(3). — p. 662-667. — DOI: 10.1128/AEM. 01250-08
22. Choi W.H. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria / W.H. Choi, J.H. Yun, J.P. Chu // *Entomol Res.* — 2012. — 42(5). — p. 219-226. — DOI: 10.1111/j. 1748-5967.2012.00465.x
23. Lalander C.H. High wasteto-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling / C.H. Lalander, J. Fidjeland, S. Diener et al. // *Agron Sustain Dev.* — 2015. — 35. — p. 261-271. — DOI: 10.1007/s13593-014-0235-4.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Cordell D. The story of phosphorus: global food security and food for thought / D. Cordell, J.-O. Drangert, S. White // *Glob Environ Chang.* — 2009. — Vol. 19(2). — p. 292-305. — DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
2. Rockström J. A safe operating space for humanity / J. Rockström, W. Steffen, K. Noone et al. // *Nature.* — 2009. — Vol. 461(7263) — p. 472-475. — DOI: 10.1038/461472a.
3. Van Huis A. Edible Insects—Future Prospects for Food and Feed Security / A. Van Huis, J. Van Isterbeek, H. Klunder et al. // *FAO Forestry Paper.* — 2013. — Vol. 171.
4. Martínez-Sánchez A. First record of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on human corpses in Iberian Peninsula / A. Martínez-Sánchez, C. Magaña, M. Saloña et al. // *Forensic Sci Int.* — 2011. — Vol. 206(1-3). — p. 76-78. — DOI: 10.1016/j.forsciint.2010.10.021
5. Diener S. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae / S. Diener, N. Studt Solano, F. Roa Gutiérrez et al. // *Waste Biomass Valorization.* — 2011. — Vol. 2(4). — p. 357-363. — DOI: 10.1007/s12649-011-9079-1
6. Sheppard D.C. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) / D.C. Sheppard, J.K. Tomberlin, J.A. Joyce et al. // *J Med Entomol.* — 2002. — Vol. 39(4). — p. 695-698. — DOI: 10.1603/ 0022-2585-39.4.695
7. St-Hilaire S. Fly prepupae as a feedstuff for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* / S. St-Hilaire, C. Sheppard, J. Tomberlin et al. // *World Aquacult Soc.* — 2007. — Vol. 38(1). — p. 59-67. — DOI: 10.1111/j. 1749-7345.2006.00073.x
8. Newton G.L. Dried *Hermetia illucens* larvae as supplement for swine / G.L. Newton, C.V. Booram, R.W. Barker et al. // *J AnimSci.* — 1977. — Vol. 44(3). — p. 395-400.
9. Sidhu J.P.S. Human pathogens and their indicators in biosolids: a literature review / J.P.S. Sidhu, S.G. Toze // *Environ Int.* — 2009. — Vol. 35(1). — p. 187-201. — DOI: 10. 1016/j.envint.2008.07.006
10. Lalander C. Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)—from a hygiene aspect / C.Lalander, S. Diener, V.E. Magri et al. // *Sci Total Environ.* — 2013. — Vol. 458-460. — p. 312-318. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.04.033
11. Erickson M.C. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly / M.C. Erickson, M. Islam, C. Sheppard et al. // *J Food Prot.* — 2004. — Vol. 67(4). — p. 685-690

12. Liu Q. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure / Q. Liu, J.K. Tomberlin, J.A. Brady et al. // *Environ Entomol.* — 2008. — Vol. 37(6). — p. 1525-1530. — DOI: 10.1603/0046-225X-37.6.1525
13. Zhou F. Developmental and waste reduction plasticity of three black soldier fly strains (Diptera: Stratiomyidae) raised on different livestock manures / F. Zhou, J.K. Tomberlin, L. Zheng et al. // *J. Med. Entomol.* — 2013. — Vol. 50. — p. 1224-1230.
14. Sheppard D.C. A value added manure management system using the black soldier fly / D.C. Sheppard, G.L. Newton, S.A. Thompson et al. // *Bioresour Technol.* — 1994. — Vol. 50(3). — p. 275-279. — DOI: 10.1016/0960-8524(94) 90102-3
15. Banks I.J. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation / I.J. Banks, W.T. Gibson, M.M. Cameron // *Tropical Med Int Health.* — 2014. — Vol. 19(1). — p. 14-22. — DOI: 10.1111/tmi.12228
16. Lyashchev A.A. Pererabotka kurinogo pometa lichinkami chernoy lvinki (*Hermetia illucens* L.) v usloviyakh Severnogo Zauralia [Processing of chicken droppings by larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) in the conditions of the Northern Trans-Urals] / A.A. Lyashchev, I.A. Prok. E. V. Koval et al. // *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]* — 2022. — 11 (125). — DOI: 10.23670/IRJ. 2022.125.118 [in Russian]
17. Myers H.M. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairymanure / H.M. Myers, J.K. Tomberlin, B.D. Lambert et al. // *Environ Entomol.* — 2008. — 37(1). — p. 11-15. — DOI: 10.1603/0046-225X(2008) 37[11:DOBSFD]2.0.CO;2
18. Gobbi P. The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) / P. Gobbi, A. Martinez-Sanchez, S. Rojo // *Eur J Entomol.* — 2013. — 110(3). — p. 461-468.
19. Emerson K. Aqueous ammonia equilibrium calculations: effect of pH and temperature / K. Emerson, R.C. Russo, R.E. Lund // *J Fish Res Board Can.* — 1975. — 32(12). — p. 2379-2383. — DOI: 10.1139/f75-274
20. Paul J.W. Relationship between Volatile fatty acids, total ammonia, and pH in manure slurries / J.W. Paul, E.G. Beauchamp // *Biol Wastes.* — 1989. — 29(4). — p. 313-318. — DOI: 10.1016/0269-7483(89)90022-0
21. Nordin A. Inactivation of *Ascaris* eggs in source-separated urine and feces by ammonia at ambient temperatures / A. Nordin, K. Nyberg, B. Vinnerås // *Appl Environ Microbiol.* — 2009. — 75(3). — p. 662-667. — DOI: 10.1128/AEM. 01250-08
22. Choi W.H. Antibacterial effect of extracts of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae against Gram-negative bacteria / W.H. Choi, J.H. Yun, J.P. Chu // *Entomol Res.* — 2012. — 42(5). — p. 219-226. — DOI: 10.1111/j. 1748-5967.2012.00465.x
23. Lalander C.H. High wasteto-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using black soldier fly for waste recycling / C.H. Lalander, J. Fidjeland, S. Diener et al. // *Agron Sustain Dev.* — 2015. — 35. — p. 261-271. — DOI: 10.1007/s13593-014-0235-4.