

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28>

ОЦЕНКА БИО- И ФИТОТОКСИЧНОСТИ ЗООГУМУСА КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ЛИЧИНОК ЧЕРНОЙ ЛЬВИНКИ (*HERMETIA ILLUCENS L.*)

Научная статья

Волкова Е.Н.^{1,*}, Антонов И.В.², Спиридонова М.В.³, Митрофанова Ю.С.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-7429-4046;

² ORCID : 0000-0002-6737-5945;

⁴ ORCID : 0009-0007-3804-2694;

^{1,3} Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Российская Федерация

^{2,4} Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ele-ven[at]yandex.ru)

Аннотация

Работа посвящена определению класса опасности зоогумуса – отхода культивирования личинок *Hermetia illucens* с помощью различных методик биотестирования с использованием инфузорий *Paramecium Caudatum* и дафний *Daphnia magna*. Зоогумус оказывал негативное воздействие на инфузории в водных вытяжках всех кратностей разведения, но при этом острого токсического действия не выявлялось, в то же время на дафниях вредное воздействие обнаруживалось при разведении 1:100, а острое токсическое воздействие – при 1:10 и без разведения. Результаты показали, что зоогумус относится к 4 классу опасности. Фитотоксичность зоогумуса в опыте с рулонной культурой проявилась только при концентрации 3% на энергии прорастания семян овса.

Ключевые слова: черная львинка, зоогумус, биотестирование, дафнии, инфузории, семена овса.

EVALUATION OF BIO- AND PHYTOTOXICITY OF ZOOHUMUS CULTIVATION OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*HERMETIA ILLUCENS L.*)

Research article

Volkova E.N.^{1,*}, Antonov I.V.², Spiridonova M.V.³, Mitrofanova Y.S.⁴

¹ ORCID : 0000-0001-7429-4046;

² ORCID : 0000-0002-6737-5945;

⁴ ORCID : 0009-0007-3804-2694;

^{1,3} Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

^{2,4} Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (ele-ven[at]yandex.ru)

Abstract

The work is dedicated to the determination of the hazard class of zoohumus, a waste product of cultivation of *Hermetia illucens* larvae, by means of various methods of biotesting using infusoria *Paramecium Caudatum* and daphnids *Daphnia magna*. Zoogumus had a negative effect on infusoria in aqueous extracts at all dilution rates, but no acute toxic effects were detected, while on daphnids, harmful effects were detected at 1:100 dilution, and acute toxic effects were detected at 1:10 and without dilution. The results showed that zoohumus belongs to the 4th class of hazard. The phytotoxicity of zoohumus in the experiment with roll culture was manifested only at a concentration of 3% on the germination energy of oat seeds.

Keywords: black soldier fly, zoohumus, biotesting, daphnids, infusoria, oat seeds.

Введение

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнения необходимость использования отходов как вторичного сырья для переработки, это важная экологическая и экономическая задача. Ежегодно в России образуется более 17 млн. т пищевых отходов в агрофирмах, домашних хозяйствах, на предприятиях общественного питания, розничной и оптовой торговли. Около 94% их отправляют на полигоны, где они могут являться рассадником инфекций, переносимых насекомыми, птицами и грызунами. На полигонах в результате циклических химических реакций органика превращается в токсины, отравляющие окружающую среду, происходит выделение парниковых газов [1], [2]. С 2018 г. в нашей стране запрещается захоронение отходов, которые могут перерабатываться действующими предприятиями. В этот перечень отходов вошли 182 вида, однако запрета на захоронение пищевых отходов нет [3].

Существующие меры обращения с пищевыми отходами включают в себя:

- раздельный сбор и накопление с дальнейшим вывозом на специальные площадки для анаэробного или аэробного компостирования;
- промышленное производство в биогаз путем анаэробной переработки;
- сжигание с целью максимальной утилизации и снижению массы;
- извлечение биоактивных соединений;
- карбонизация и получение активированных углей и др. [4], [5].

Ранее нами предлагался способ переработки отходов хлебобулочных изделий, образующихся в розничной сети г. Санкт-Петербурга в весьма востребованный в народном хозяйстве продукт — биоэтанол [6].

Выбор того или иного способа утилизации органических отходов определяется экономической эффективностью, экологической целесообразностью, техническими возможностями и др. В последние годы во многих странах уделяют большое внимание биоконверсии органических отходов производства и потребления с использованием живых организмов, таких как дождевые черви, личинки комнатной мухи или черной львинки [7], [8], [9].

Установлен ряд преимуществ использования личинок черной львинки (*Hermetia illucens* (L.)) для переработки пищевых отходов:

- 1) скорость утилизации отходов выше, чем при технологии вермикомпостирования дождевыми червями;
- 2) неприхотлива в питании, способна поедать все виды пищевых и сельскохозяйственных отходов;
- 3) биологическая, санитарная и ветеринарная безопасность насекомых;
- 4) неинвазивный вид;
- 5) биомасса личинок — ценное сырье и кормовой продукт.

Исследованиями установлено, что использование личинок черной львинки для переработки органических отходов, в том числе просроченной продукции из торговых точек, экономически и экологически выгоднее, чем сжигание и анаэробное сбраживание и сопоставимо с затратами на компостирование [10].

Один из способов культивирования *Hermetia Illucens*, представленный М. А. Петровичевым заключается в следующем: пищевые и органические отходы измельчают и превращают в однородную массу, которую затем подвергают автоклавированию при температуре 120° не менее 30 мин. На приготовленный субстрат заселяют личинки мухи *Hermetia Illucens* возрастом 3-5 дней с момента вылупления, с расчетом 7-10 особей на 1 см² субстрата [11].

Переработанные личинками мухи отходы представляют собой зоогумус, состоящий из разнообразных органических соединений, богатый макро- и микроэлементами. Однако поскольку пищевые отходы отличаются широким ассортиментом входящих в них компонентов и, следовательно, непостоянством состава, возникают трудности со сравнением результатов исследований различных авторов по использованию зоогумуса. Его состав может отличаться в зависимости от поедаемого личинками мухи субстрата, поэтому необходимо уточнять токсическую реакцию. В данном случае использование расчетных методов для определения класса опасности подобного вида отходов затруднительно. Биотестирование позволяет дать интегральную оценку потенциальной токсичности отхода.

Цель работы состояла в определении класса опасности зоогумуса – отхода культивирования личинок *Hermetia illucens* с помощью методов биотестирования и оценка его фитотоксичности.

Методы и принципы исследования

В опытах использовали зоогумус, предоставленный ООО «Зероникс», (г. Москва), который представлял собой темно-коричневую сыпучую массу с размером частиц 1-3 мм со слабым запахом аммиака [12].

Экспериментальную работу проводили методом биотестирования на тест-организмах: низших рачках *Daphnia magna* (по ФР 1.39.2007.03222) [13], инфузориях *Paramecium caudatum* (в соответствии с ГОСТ Р 57166-2016 [14] и ФР 1.39.2006.02506 [15] и по хемотаксической реакции с помощью Биотестера-2М). Поскольку в дальнейшем предполагается использовать зоогумус при выращивании растений, то оценивали его фитотоксичность методом рулонной культуры при прорастивании семян растений овса (*Avena sativa* L.), сорта Боррус. Схема опыта включала намачивание семян в течение 24 час. в водных вытяжках зоогумуса в концентрациях 0,1%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 3,0%. Определяли показатели: всхожесть семян, энергия прорастания, длина корней и стебля. Оценка всхожести проводили по ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур» [16], длину корней и стебля – путем прямого измерения. Опыт проводили в трехкратной повторности, по 50 семян каждая. Статистическую обработку данных проводили с применением программ Excel 2016. Достоверность различий между вариантами оценивали методами параметрической статистики (t-критерий Стьюдента). Различия между вариантами считали достоверными при $p \leq 0,05$.

Отличие методик биотестирования по ГОСТ Р 57166-2016 [14] и ФР 1.39.2006.02506 [15] заключается в объемах контрольной и анализируемой проб, а также во времени тест-реакции.

По ГОСТ Р 57166-2016 [14] оценивается острая токсичность (продолжительность реакции 6 часов) при объеме анализируемой и контрольной проб – 10 мл:

$A = (X \text{ ср.к.} - X \text{ ср.ан.} / X \text{ ср.к.}) * 100\%$, где, X ср.к. и X ср.ан. – среднеарифметическое значение количества выживших инфузорий в контрольной пробе и анализируемой пробе соответственно.

По ФР 1.39.2006.02506 [15] объем контрольной и анализируемой проб составляет 0,6 мл, а длительность реакции 24 часа, после чего определяют острое токсическое действие по проценту погибших инфузорий (А, %) по формуле:

$A = (X_t / X_i) * 100\%$, где X_t – количество погибших особей в тестируемой воде через 24 часа, X_i – количество исходных особей.

Метод по хемотаксической реакции инфузорий основан на способности реагировать на присутствие в водной среде веществ, представляющих опасность для их жизнедеятельности, и направленно перемещаться по градиенту концентраций этих веществ.

По данному методу оценивается острое токсическое действие. Оценка токсичности пробы производят по относительной разнице количества клеток в верхних зонах кювет в контрольной и анализируемой пробе. Индекс токсичности определяется по формуле:

$T = I \text{ ср.контроль} - I \text{ ср.опыт} / I \text{ ср.контроль}$, где I ср.контроль, I ср.опыт – средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно.

Оценку токсичности по ФР 1.39.2007.03222 [13] с помощью дафний (*Daphnia magna*) проводили в течение 96 часов и определяли острое токсическое действие.

Предварительно перед экспериментом из пробы зоогумуса была подготовлена водная вытяжка. Для этого к 200 г пробы зоогумуса прилили 800 мл дистиллированной воды, после чего перемешивали два часа и затем 30 минут отстаивали. Полученный раствор профильтровали.

Для оценки токсического действия из водной вытяжки сделали серии разведений по три повторности: 1:1,1:10,1:100,1:1000, 1:10000 в соответствии с Приказом Министерства ПриЭ РФ [17] для определения класса опасности зоогумуса.

Основные результаты

Результаты экспериментов на низших рачках *Daphnia magna* и инфузориях *Paramecium caudatum* представлены в таблицах 1-4.

Оценка выживаемости тест-организмов в зависимости от разведения водной вытяжки зоогумуса показала, что острая токсичность (гибель более 50 % организмов) была обнаружена по обоим методикам на инфузориях (ГОСТ Р 57166-2016, ФР 1.39.2006.02506) при разведении 1:10 и без разведения. При остальных больших разведениях наблюдалось вредное воздействие, но токсический эффект не проявлялся (табл.1-2, рис.1-2).

Таблица 1 - Оценка токсичности пробы морфологическим методом на инфузориях *Paramecium Caudatum* по ГОСТ Р 57166-2016

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.1>

Разведение	Острая токсичность, %	Степень токсичности
10000	25	Не обладает острой токсичностью (слаботоксичная)
1000	30	Не обладает острой токсичностью (слаботоксичная)
100	40	Не обладает острой токсичностью (среднетоксичная)
10	60	Обладает острой токсичностью (высокотоксичная)
без разведения	90	Обладает острой токсичностью (высокотоксичная)

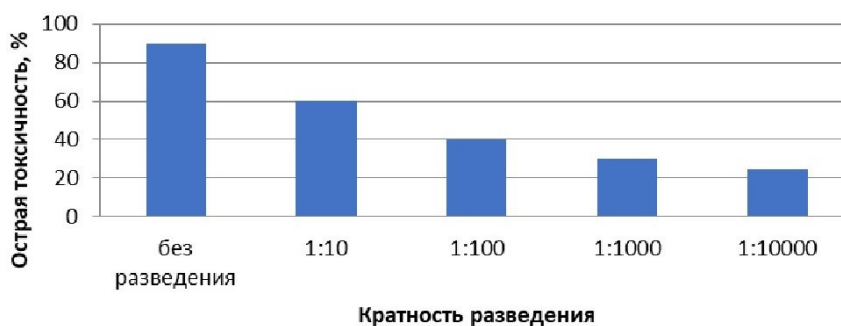


Рисунок 1 - Зависимость острой токсичности инфузории *Paramecium Caudatum* от кратности разведения водной вытяжки зоогумуса

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.2>

Примечание: по ГОСТ Р 57166-2016

Таблица 2 - Оценка токсичности пробы морфологическим методом на инфузориях *Paramecium Caudatum* по ФР 1.39.2006.02506

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.3>

Разведение	A, %	Токсическое воздействие
10000	16,67	Не оказывает (обнаружено)

		вредное воздействие)
1000	33,33	Не оказывает (обнаружено вредное воздействие)
100	30	Не оказывает (обнаружено вредное воздействие)
10	76,67	Оказывает (обнаружено вредное воздействие)
без разведения	53,33	Оказывает (обнаружено вредное воздействие)

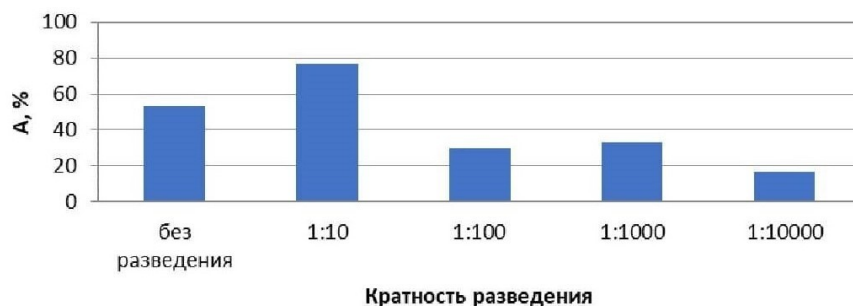


Рисунок 2 - Зависимость острой токсичности инфузории *Paramecium Caudatum* от кратности разведения водной вытяжки зоогумуса
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.4>

Примечание: по ФР 1.39.2006.02506

Снижение численности клеток при разных разведениях (1:10000, 1:1000, 1:100) варьировалось в пределах от 16 до 40%, при этом значения совпадают при разведении 1:1000, для разведений 1:10000 и 1:100 смертность ниже на 10% по методике ФР 1.39.2006.02506. Наибольшая смертность наблюдается при использовании методики по ГОСТ Р 57166-2016 без разведения водной вытяжки.

При анализе влияния растворов вытяжки зоогумуса с различными разведения на выживаемость дафний *Daphnia magna* выявлено (табл.3, рис. 3), что острого токсического воздействия не оказывают вытяжки при разведениях 1:10000, 1:1000, 1:100, при этом вредное воздействие не обнаруживается при разведениях 1:10000 и 1:1000.

Таблица 3 - Оценка токсичности пробы морфологическим методом на дафниях *Daphnia magna*

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.5>

Разведение	Процент погибших в тестируемой воде дафний (А), %	Острое токсическое воздействие
10000	0	Не оказывает (не обнаружено вредное воздействие)
1000	0	Не оказывает (не обнаружено вредное воздействие)
100	25	Не оказывает (обнаружено вредное воздействие)
10	100	Оказывает (обнаружено вредное воздействие)
без разведения	100	Оказывает (обнаружено вредное воздействие)



Рисунок 3 - Зависимость смертности дафний *Daphnia magna* от кратности разведения водной вытяжки зоогуруса
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.6>

Если рассматривать показатель смертности дафний при разведениях водной вытяжки, то при значениях 1:10 и без разведения 100% гибель наблюдается уже за 24 часа эксперимента. В водных вытяжках с разведением 1:10000, 1:1000 не выявлено смертельных случаев за 96 часов наблюдений.

Результаты оценки острой токсичности с помощью хемотаксического метода на Биотестере-2М при разведении 1:1000 выявили высокую степень токсичности, в вытяжке с разведением 1:10000 не оказывается токсического действия (допустимая степень токсичности) (табл.4.).

Таблица 4 - Оценка токсичности пробы хемотаксическим методом на инфузориях *Paramecium Caudatum* с помощью прибора Биотестер-2М

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.7>

Разведение	T, %	Степень токсичности
10000	-0,60	I Доступная
1000	0,97	III Высокая
100	-	-
10	-	-
без разведения	-	-

По результатам биотестирования по обоим тест-организмам можно сделать вывод, что зоогурус относится к 4 классу опасности в соответствии с [4].

Вероятно, класс опасности зависит от перерабатываемого личинками субстрата. Так, в опытах Г.В. Ильиной и Д.Ю. Ильина биотестирование дафниями и бактериями зоогуруса, полученного из птичьего помета, позволило отнести его к 3 классу опасности. Авторы объясняют это повышенным содержанием аммиака в зоогурусе [18]. По данным других авторов, проводивших биотестирование зоогуруса на дафниях и водоросли хлорелле, этот отход имеет 4 класс опасности [19].

В опыте по определению фитотоксичности, намачивание семян овса в вытяжках зоогуруса стимулировало незначительное увеличение энергии прорастания (на 3-й день эксперимента) только в вариантах с концентрацией 1,0% и 1,5%, а концентрация 3,0% оказывала угнетающее действие на этот показатель (табл. 5).

Таблица 5 - Влияние вытяжек из зоогуруса на ростовые показатели семян овса

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.28.8>

Вариант опыта	Концентрация зоогуруса	Всхожесть		Энергия прорастания		Длина			
		%	% к контролю	%	% к контролю	корень		росток	
						мм	% от контроля	мм	% от контроля
1.	0% (контроль)	42,0±5,7	100	34,0 ± 17,6	100	50,2±3,1	100	62,6±2,4	100
2.	0,1%	40,0±6,5	95	32,0 ± 15,7	94	58,9±3,1	117	64,1±3,1	102
3.	0,5%	51,0±8,9	121	33,0 ± 15,7	97	48,2±3,4	96	66,3±3,4	105
4.	1,0%	54,0±8,	128	36,0 ±	110	54,8±3	109	71,9±2	115

		2		9,8		7,5		8,9	
5.	1,5%	57,0±4,9	135	38,5 ± 13,9	113	56,6±34,5	112	58,1±31,2	93
6.	3,0%	47,0±13,7	112	25,0 ± 21,7	74	51,2±29,8	102	58,5±33,5	93

Всхожесть семян (на 7-й день эксперимента) существенно увеличивалась на 12-35% к контролю (вода) в вариантах со всеми концентрациями, кроме 0,1%. Длина корней (на 10 день эксперимента) в вариантах 0,1%, 1,0-3,0% достоверно или в виде тенденции была больше контроля. Длина ростка в вариантах с концентрацией 0,1-0,5% незначительно превышала контроль, а в варианте 1,0% -на 15% выше контроля. Таким образом, существенной фитотоксичности влияния возрастающих концентраций зоогумуса на изучаемые показатели не отмечено, кроме влияния концентрации 3,0% на энергию прорастания семян овса.

Заключение

Переработка органических и пищевых отходов с образованием зоогумуса личинками мухи черная львинка является перспективным направлением биоремедиации.

Обобщение результатов битестирования показало, что зоогумус оказывал негативное (вредное) воздействие на инфузории *Paramecium Caudatum* в водных вытяжках всех кратностей разведения, которые использовались в эксперименте, но при этом острого токсического действия не выявлялось, в то же время на дафниях *Daphnia magna* вредное воздействие обнаруживалось при разведении 1:100, а острое токсическое воздействие – при 1:10 и без разведения.

По результатам биотестирования по обоим тест-организмам можно сделать вывод, что зоогумус относится к 4 классу опасности в соответствии с [4]. Фитотоксическое действие водных вытяжек из зоогумуса при намачивании семян овса проявлялось только на показателе «энергия прорастания» в варианте с 3% раствором. Намачивание семян в растворах зоогумуса стимулировало всхожесть семян, которая существенно увеличивалась на 12-35% к контролю (вода) в вариантах со всеми концентрациями, кроме 0,1%.

Конфликт интересов

Не указан.

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.

Conflict of Interest

None declared.

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. Рукина И.М. Технологии рециклинга в пищевой и перерабатывающей промышленности / И.М. Рукина, В.В. Филатов, В.Н. Женжебир // Микроэкономика. — 2018. — № 3. — С. 17–26.
2. Субракова Л.К. Экономика обращения с пищевыми отходами в России / Л.К. Субракова // Вестник ВГУ. Сер. Экономика и управление. — 2021. — № 1. — С. 37–48.
3. Суворов О.А. Систематический обзор ресурсосберегающих технологий, проблем экологизации сокращения образования пищевых отходов / О.А. Суворов, А.Л. Кузнецов, Н.Э. Воротынцева [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. — 2023. — № 3. — С. 5–14. — DOI: 10.14529:food230301.
4. Pleissner D. Recylyng and reuse of food waste / D. Pleissner // Current opinion in green and sustainable chemistry. — 2018. — Vol.13. — P. 39–43.
5. Bortolotti A. Decentralised organic resource treatments – classification and comparison through extended material flow analysis / A. Bortolotti, S. Kompelman, S. De Muynck // J. of Cleaner Production. — 2018. — № 183. — P. 1–20. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.104.
6. Волкова Е.Н. Проблемы и способы решения биоконверсии пищевых отходов / Е.Н. Волкова // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии. Сборник докладов Междунар. научн. конф. — Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. — С. 173–177.
7. Liu C. Comprehensive resource utilization of waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens*(L.)) / C. Liu, C. Wang, H. Yao // Animals. — 2019. — Vol. 9. — Art. 34919. — DOI: 10.3920/JIFF 2014.0024.
8. Singh A. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review / A. Singh, K. Kumari // J. of Environmental Management. — 2019. — Vol. 251. — Art. 109569. — 13 p. — DOI: 01016/J.jenvman.2019.109569.
9. Dobermann D. Using *Hermetia illucens* to process Ugandan waragi waste / D. Dobermann, L.M. Field, L.V. Michaelson // J. of Cleaner Production. — 2019. — Vol. 211. — P. 303–308. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.176.
10. Ites S. Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment / S. Ites, S. Smetana, S. Toepfl [et al.] // J. of Cleaner Production. — 2020. — Vol. 248. — Art. 119248. — 17 p. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119248.

11. Пат. 28124571 Российская Федерация, МПК2023110892 МПК C05F. Способ переработки пищевых и органических отходов личинкой мухи *Hermetia Illucens* с получением биогумуса / Петровичев М.А.; заявитель и патентообладатель Петровичев М.А. — № 2023110892; заявл. 2024-10-09; опублик. 2024-10-09, Российская Федерация. — 3 с.
12. Zeronics. — 2024. — URL: <https://zeronixbio.com/ru/nashi-produkty/> (дата обращения: 09.10.2024)
13. ФП 1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодovitости дафний. — М.: Акварос, 2007. — 51 с.
14. ГОСТ Р 57166-2016. Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных инфузорий // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — 2016. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12883> (дата обращения: 09.10.2024)
15. ФП 1.39.2006.02506. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg. — М.: МГУ, 2006. — 30 с.
16. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести // Интернет и право. — 1984. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12883> (дата обращения: 09.10.2024)
17. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 № 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I - V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 N 40330) // Консорциум кодекс. — 2014. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420240163> (дата обращения: 09.10.2024)
18. Ильина Г.В. Анализ интегральной токсичности зоокомпоста, полученного при переработке отходов птицеводства личинками *Hermetia illucens* / Г.В. Ильина, Д.Ю. Ильин // Качество жизни населения и экология : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. — Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2021. — С. 41–44.
19. Василенко М. Характеристики зоокомпоста промышленного культивирования личинок *Hermetia Illucens* как органического удобрения / М. Василенко, Е. Гончарова, Е. Пендюрин // *Annali d'Italia*. — 2020. — № 11-2. — С. 7–10.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Rukina I.M. Tehnologii retsiklinga v pischevoj i pererabatyvajušcej promyshlennosti [Recycling technologies in the food and processing industry] / I.M. Rukina, V.V. Filatov, V.N. Zhenzhebir // *Mikroekonomika* [Microeconomics]. — 2018. — № 3. — P. 17–26. [in Russian]
2. Subrakova L.K. Ekonomika obraschenija s pischevymi othodami v Rossii [Economics of food waste management in Russia] / L.K. Subrakova // *Vestnik VGU. Ser. Jekonomika i upravlenie* [VSU Bulletin. Ser. Economics and management]. — 2021. — № 1. — P. 37–48. [in Russian]
3. Suvorov O.A. Sistematičeskij obzor resursosberegajuschih tehnologij, problem ekologizatsii sokrasčhenija obrazovanija pischevych othodov [Systematic review of resource-saving technologies, problems of greening and reducing food waste generation] / O.A. Suvorov, A.L. Kuznetsov, N.E. Vorotyntsev [et al.] // *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Pishhevye i biotehnologii* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology]. — 2023. — № 3. — P. 5–14. — DOI: 10.14529:food230301. [in Russian]
4. Pleissner D. Recyglyng and reuse of food waste / D. Pleissner // *Current opinion in green and sustainable chemistry*. — 2018. — Vol.13. — P. 39–43.
5. Bortolotti A. Decentralised organic resource treatments – classification and comparison through extended material flow analysis / A. Bortolotti, S. Kompelman, S. De Muynck // *J. of Cleaner Production*. — 2018. — № 183. — P. 1–20. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.104.
6. Volkova E.N. Problemy i sposoby reshenija biokonversii pischevych othodov [Problems and solutions to bioconversion of food waste] / E.N. Volkova // *Aktual'nye aspekty i perspektivy razvitija sovremennoj biotehnologii. Sbornik dokladov Mezhdunar. nauchn. konf* [Current aspects and prospects for the development of modern biotechnology. Collection of reports International Scientific Conf]. — Belgorod: BGТУ im. V.G. Shuhova, 2024. — P. 173–177. [in Russian]
7. Liu C. Comprehensive resource utilization of waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens*(L.)) / C. Liu, C. Wang, H. Yao // *Animals*. — 2019. — Vol. 9. — Art. 34919. — DOI: 10.3920/JIFF 2014.0024.
8. Singh A. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review / A. Singh, K. Kumari // *J. of Environmental Management*. — 2019. — Vol. 251. — Art. 109569. — 13 p. — DOI: 01016/J.jenvman.2019.109569.
9. Dobermann D. Using *Hermetia illucens* to process Ugandan waragi waste / D. Dobermann, L.M. Field, L.V. Michaelson // *J. of Cleaner Production*. — 2019. — Vol. 211. — P. 303–308. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.176.
10. Ites S. Modularity of insect production and processing as a path to efficient and sustainable food waste treatment / S. Ites, S. Smetana, S. Toepfl [et al.] // *J. of Cleaner Production*. — 2020. — Vol. 248. — Art. 119248. — 17 p. — DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119248.
11. Пат. 28124571 Russian Federation, МПК2023110892 МПК C05F. Sposob pererabotki pischevych i organičeskikh othodov lichinkoj muhi *Hermetia Illucens* s polucheniem biogumusa [Method for processing food and organic waste by *Hermetia Illucens* fly larva to produce vermicompost] / Petrovichev M.A.; the applicant and the patentee Petrovichev M.A. — № 2023110892; appl. 2024-10-09; publ. 2024-10-09, Rossijskaja Federatsija. — 3 p. [in Russian]
12. Zeronics. — 2024. — URL: <https://zeronixbio.com/ru/nashi-produkty/> (accessed: 09.10.2024) [in Russian]
13. FR 1.39.2007.03222. Metodika opredelenija toksičnosti vody i vodnyh vytjazhek iz pochvy, osadkov stochnyh vod, othodov po smertnosti i izmeneniju plodovitosti dafnij [Methodology for determining the toxicity of water and water extracts

from soils, sewage sludge, and waste based on mortality and changes in the fertility of daphnia]. — M.: Akvaros, 2007. — 51 p. [in Russian]

14. GOST R 57166-2016. Voda. Opredelenie toksichnosti po vyzhivaemosti presnovodnyh infuzorij [GOST R 57166-2016. Water. Determination of toxicity by survival of freshwater ciliates] // Elektronnyj fond pravovyh i normativno-tehnicheskikh dokumentov [Electronic fund of legal, regulatory and technical documents]. — 2016. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12883> (accessed: 09.10.2024) [in Russian]

15. FR 1.39.2006.02506. Metodika opredelenija toksichnosti othodov, pochv, osadkov stochnyh, poverhnostnyh i gruntovyh vod metodom biotestirovanija s ispol'zovaniem ravnoresnichnyh infuzorij *Paramecium caudatum* Ehrenberg [Methodology for determining the toxicity of waste, soil, sewage sludge, surface and groundwater by biotesting using the ciliates *Paramecium caudatum* Ehrenberg]. — M.: MSU, 2006. — 30 p. [in Russian]

16. GOST 12038-84. Semena sel'skohozjajstvennyh kul'tur. Metody opredelenija vshozhesti [GOST 12038-84. Agricultural seeds. Methods for determining germination] // Internet i pravo [Internet and law]. — 1984. — URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12883> (accessed: 09.10.2024) [in Russian]

17. Prikaz Minprirody Rossii ot 04.12.2014 № 536 «Ob utverzhenii Kriteriev otnesenija othodov k I - V klassam opasnosti po stepeni negativnogo vozdejstvija na okruzhajuschuju sredu» (Zaregistrovano v Minjuste Rossii 29.12.2015 N 40330) [Order of the Ministry of Natural Resources of Russia dated December 4, 2014 No. 536 “On approval of the Criteria for classifying waste into hazard classes I - V according to the degree of negative impact on the environment” (Registered with the Ministry of Justice of Russia on December 29, 2015 N 40330)] // Konsorcium kodeks [Consortium Code]. — 2014. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420240163> (accessed: 09.10.2024) [in Russian]

18. Il'ina G.V. Analiz integral'noj toksichnosti zookomposta, poluchennogo pri pererabotke othodov pitsevodstva lichinkami *Hermetia illucens* [Analysis of the integral toxicity of zoocompost obtained from the processing of poultry waste by *Hermetia illucens* larvae] / G.V. Il'ina, D.Ju. Il'in // Kachestvo zhizni naselenija i jekologija : Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Quality of life of the population and ecology: Collection of articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. — Penza: Penza State Agrarian University, 2021. — P. 41–44. [in Russian]

19. Vasilenko M. Harakteristiki zookomposta promyshlennogo kul'tivirovanija lichinok *Hermetia Illucens* kak organicheskogo udobrenija [Characteristics of zoocompost from industrial cultivation of *Hermetia Illucens* larvae as an organic fertilizer] / M. Vasilenko, E. Goncharova, E. Pendjurin // Annali d'Italia. — 2020. — № 11-2. — P. 7–10. [in Russian]