

УДК 614.7:574.21

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДНЫХ И ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ В СИСТЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА — ШЛАМА КАМНЕОБРАБОТКИ

Камлюк С.Н., Борис О.А., Петрова С.Ю., Анисович М.В., Васильева М.М., Иода В.И.

Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,
Минск, Республика Беларусь

*Цель работы заключалась в установлении степени и класса опасности отходов минеральной природы – шламов камнеобработки, по опасному свойству «экоотоксичность» с применением беспозвоночных животных: пресноводных моллюсков *Lymnaea stagnalis* и почвенных олигохет *Eisenia foetida*. Приведено описание экспериментальных методов, использованных для определения степени и класса опасности отходов производства минеральной природы. Основанные на биотестировании подходы достаточно полно отражают процессы влияния содержащихся в отходах токсичных веществ на гидробионтов и представителей почвенной фауны, что свидетельствует о целесообразности использованных в данной работе методов и приведенных результатов исследований. В свою очередь, актуальность проблемы переработки и вторичного использования отходов производства минеральной природы обуславливает целесообразность проведения исследований по определению класса опасности шламов камнеобработки.*

Ключевые слова: опасные отходы, шлам камнеобработки, токсичность, экоотоксичность, вторичная переработка, степень опасности, класс опасности, биотестирование.

Для цитирования: Камлюк С. Н., Борис О. А., Петрова С.Ю., Анисович М.В., Васильева М.М., Иода В.И. Применение водных и почвенных беспозвоночных животных в системе определения класса опасности отходов производства: шлам камнеобработки. Медицина труда и экология человека. 2021: 1:49-60

Для корреспонденции: Камлюк Светлана Николаевна, старший научный сотрудник лаборатории профилактической и экологической токсикологии, канд. биол. наук, shevtsova308@gmail.com

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10104>

APPLICATION OF AQUATIC AND SOIL INVERTEBRATE ANIMALS IN THE SYSTEM FOR DETERMINING THE CLASS OF HAZARD OF PRODUCTION WASTE: STONE SLUDGE

Kamliuk S.N., Boris O.A., Petrova S.Yu., Anisovich M.V., Vasilyeva M.M., Ioda V.I.

Republican Unitary Enterprise “Scientific practical centre of hygiene”, Minsk, Belarus

The aim of the work was to establish the degree and hazard class of mineral waste – stone processing sludge, according to the dangerous property of "ecotoxicity" with the use of

*invertebrates: freshwater mollusks *Lymnaea stagnalis* and soil oligochaetes *Eisenia foetida*. A description of the experimental methods used to determine the degree and class of hazard of mineral wastes is given. Approaches based on biotesting quite fully reflect the processes of the influence of toxic substances contained in waste on aquatic organisms and representatives of soil fauna, which indicates the expediency of the methods used in this work and the results of the studies. In turn, the urgency of the problem of processing and recycling mineral wastes determines the feasibility of conducting research to establish the hazard class of stone processing sludge.*

Key words: *hazardous waste, stone processing sludge, toxicity, ecotoxicity, recycling, hazard degree, hazard class, biotesting.*

Citation: *Kamlyuk S.N., Boris O.A., Petrova S.Yu., Anisovich M.V., Vasileva M.M., Ioda V.I. The use of aquatic and soil invertebrates in the system for determining the hazard class of industrial waste: stone processing sludge. Occupational health and human ecology. 2021: 1:49-60*

Correspondence: *Svetlana N. Kamlyuk, Senior Researcher, Laboratory of Preventive and Environmental Toxicology, CSc. (Biology), shevtsova308@gmail.com*

Financing: *The study had no financial support.*

Conflict of interest: *The authors declare no conflict of interest.*

DOI: <http://dx.doi.org/10.24411/2411-3794-2021-10104>

Актуальность эффективного решения проблем, связанных с поиском путей переработки отходов производства в условиях стремительно возрастающей антропогенной и техногенной нагрузки на природные ландшафты и урбанизированные территории, не вызывает сомнений [1]. Отсутствие законодательно установленных механизмов регулирования обращения с отходами могло бы привести к нанесению значительного ущерба экономике и экологическому благополучию естественных биогеоценозов, здоровью населения Республики Беларусь [2].

Следствием стремительного развития перспективных направлений, связанных с разработкой и модернизацией технологических процессов производства, становятся значительные количества отходов, в том числе минеральной природы [3, 4]. Вместе с тем наличие во вторично перерабатываемых и свозимых на полигоны отходах производства токсичных примесей (тяжелых металлов, нефтепродуктов и т.д.) может представлять угрозу здоровью человека и благополучию окружающей природной среды.

В целом вторичной переработке подлежат неопасные отходы и отходы производства, относимые к четвертому и третьему классу опасности (малоопасные и умеренно опасные отходы соответственно), согласно классификатору отходов, образующихся в Республике Беларусь. Согласно действующим в Беларуси техническим нормативно-правовым актам, ряд отходов производства, образующихся в Республике Беларусь, подлежит санитарно-гигиеническим испытаниям с целью установления класса опасности по опасному свойству «экотоксичность» [5]. Целесообразность проведения испытаний ряда отходов по опасному свойству «экотоксичность» с применением водных и почвенных организмов обусловлена возможностью миграции в почвенную, воздушную и водную среду токсичных веществ, содержащихся в складированных и захораниваемых отходах производства.

В данной работе представлены основные методические аспекты и оригинальные данные, полученные в ходе проведения испытаний по опасному свойству «экотоксичность» шламов камнеобработки (код 3161400, согласно классификатору отходов, образующихся в

Республике Беларусь), образованных на промышленном объекте Республики Беларусь [5]. Оценку степени опасности отходов экспериментальным методом проводили с применением дождевых червей *Eisenia foetida* и кладок вторичноводного моллюска *Lymnaea stagnalis* (большого прудовика).

Цель работы – установление степени и класса опасности отходов производства: шлама камнеобработки с применением дождевых червей *Eisenia foetida* и кладок вторичноводного моллюска *Lymnaea stagnalis*.

Материалы и методы. Испытания образцов отходов по опасному свойству «экотоксичность» проводили согласно инструкции по применению № 044–1215 [3] с применением таких тест-моделей, как кладки брюхоногого легочного моллюска *Lymnaea stagnalis* (большого прудовика), лабораторная популяция дождевых червей *Eisenia foetida*.

В ходе испытаний отходов производства в тест-модели *L. stagnalis* заданные концентрации шламов камнеобработки, представляющих собой смешанную с водой пыль и мелкодисперсную крошку, образованную при пилении и шлифовке мрамора и гранита, составили 1,0; 10,0; 50,0; 250,0 мг/мл. Эксперимент проводили в трех повторностях. Перед началом эксперимента определяли количество зародышевых капсул во фрагментах кладок каждой из групп, чашки с фрагментами кладок заполняли исследуемыми растворами (суспензиями) и инкубировали до выхода молоди из кладок. По завершению эксперимента определяли абсолютное значение выклевавшихся особей в каждой чашке. В качестве отрицательного контроля использовали чашки с фрагментами кладок, заполненные отстоянной водопроводной водой. *L. stagnalis* оценивали эффект угнетения выклева: подсчитывали выклевавшихся особей в каждой опытной группе и в контроле, и рассчитывали долю выклевавшихся особей относительно изначального количества для каждой повторности. Опасность отходов в отношении эмбриотоксичности оценивали по показателям: среднеэффективная концентрация (EC_{50}); пороговая концентрация (EC_{15}); зона острого действия (рассчитывается через отношение EC_{50} к EC_{15}). Ключевые критерии отнесения испытываемых отходов к определенному классу опасности на основании итогов теста на эмбриотоксичность отражены в таблице 1.

Таблица 1

Критерии ранжирования отходов по классам опасности на основании оценки в тест-модели *L. stagnalis*

Показатель	Класс опасности отходов			
	1	2	3	4
EC_{50} , мг/мл	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 20	> 20
Пороговая концентрация (EC_{15}), мг/мл	< 10^{-4}	$10^{-4} - <10^{-3}$	$10^{-3} - 0,5$	> 0,5
EC_{50} / EC_{15}	> 10^4	$10^4 - >10^2$	$10^2 - 10$	-

При проведении испытаний по оценке токсичности отходов в тест-модели *E. foetida* в каждой из трех повторностей было задействовано 7 особей на 500 г подготовленного грунта. Заданная концентрация отходов составила 1000 г/кг субстрата. В экспериментах с использованием дождевых червей в качестве отрицательного контроля использовали

подготовленный грунт (субстрат) без добавления испытываемых отходов производства. На протяжении 7-суточной инкубации наблюдали за морфологическими и поведенческими особенностями олигохет. По окончании эксперимента фиксировали гибель животных. По итогам испытаний класс опасности присваивали в соответствии с критериями, отраженными в таблице 2.

Таблица 2

Критерии установления класса опасности отходов производства по результатам оценки токсичности в тест-модели *Eisenia foetida*

Показатель	опасные отходы				неопасные отходы
	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс	
Токсичность на <i>Eisenia foetida</i> , LC ₅₀	≤ 0,1	> 0,1 – 1,0	1,1 – 50,0	≥ 50,0	отсутствие

Статистическая значимость различий между контролем и опытом по всем оцениваемым показателям была оценена с применением t-критерия Стьюдента (кроме прироста коллумелярной массы тела червей, для оценки значимости различий по данному показателю применяли U-критерий Манна–Уитни). Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программного обеспечения «STATISTICA 6.1».

Результаты и их обсуждение. Проведенные лабораторные эксперименты с применением кладок большого прудовика свидетельствуют о наличии значимого угнетения выклева молоди моллюсков в условиях воздействия исследуемых отходов производства при заданных концентрациях (табл. 3).

Таблица 3

Результаты изучения эмбриотоксического действия отходов

Концентрация отходов, мг/мл	Успешный выклев, %	CV (коэффициент вариации), %	Угнетение выклева, %
Контроль	97,48	1,05	-
1,0	94,79	1,06	2,76
10,0	80,61	1,60	17,31
50,0	69,13	1,09	29,09
250,0	4,91	17,49	94,96

На основании полученных результатов были рассчитаны значения показателей для ранжирования исследованных отходов производства по классам опасности (табл. 4).

Таблица 4

Параметры эмбриотоксичности отходов

Показатель	Результат	Класс опасности
EC ₅₀ , мг/мл	89,46±0,06	4 класс
Пороговая концентрация (EC ₁₅), мг/мл	12,76	4 класс

Полученные данные позволяют заключить, что испытанные отходы оказывают эмбриотоксическое действие на кладки *Lymnaea stagnalis* и относятся к малоопасным отходам (4-му классу опасности).

Результаты проведения экспериментов с дождевыми червями (при длительности экспозиции 7 суток) также позволили выявить токсические свойства представленных на испытание отходов (табл. 5).

Таблица 5

Динамика коллумелярного веса дождевых червей *E. foetida* в условиях влияния шламов камнеобработки в концентрации 1000,0 г/кг

№ повторности	Прирост коллумелярного веса, г/особь	
	контроль	опыт
1	+0,010	-0,012
2	+0,013	-0,011
3	+0,016	-0,008
4	+0,014	-0,013
Me, 25%; 75% квантили	0,0135 (0,0115; 0,0150)	-0,0150 (-0,0125; -0,0095); p = 0,03*
Примечание: * – различия статистически значимы при p ≤ 0,05		

В результате исследования шламов камнеобработки в тест-модели *Eisenia foetida* было установлено наличие токсического эффекта в виде статистически значимого снижения прироста коллумелярного веса при действии отходов в концентрации 1000,0 г/кг. Таким образом, исследованные отходы по результатам оценки экотоксичности в тест-модели *Eisenia foetida* относятся к малоопасным отходам (к 4-му классу опасности).

Таким образом, по итогам проведения исследований с использованием почвенных олигохет *E. foetida* испытанные отходы производства могут быть отнесены к отходам четвертого класса опасности (малоопасным отходам).

Заключение. Экспериментальные данные, полученные в ходе испытаний отходов (шламов камнеобработки), свидетельствуют о некоторой степени угнетения развития и роста использованных нами беспозвоночных животных (дождевых червей и эмбрионов большого прудовика). С учетом результатов, полученных при оценке опасного свойства «экотоксичность», исследованные отходы относятся к 4-му классу опасности (малоопасным отходам) [3].

Одним из важных аспектов ранжирования отходов по классам опасности по свойству «экотоксичность» на основании результатов исследований, проведенных с применением нескольких тест-моделей, является ориентация на лимитирующий показатель, что обеспечивает максимально строгий подход к процедуре установления степени и класса

опасности отходов с использованием экспериментального метода. В данной работе 4-й класс опасности по опасному свойству «экоотоксичность» был установлен для шламов камнеобработки по результатам анализа данных, полученных во всех примененных тест-моделях, поэтому лимитирующими явились все оцениваемые показатели.

Широкое применение в санитарно-гигиенической практике методик, основанных на применении батареи биологических тест-моделей, подтверждает перспективность и целесообразность использования описанных в работе методов лабораторного биотестирования [3].

Список литературы:

1. Chinaza G.A. Hannington T., Chibueze G.A. Industrial Waste Management, Treatment, and Health Issues: Wastewater, Solid, and Electronic Wastes. European Academic Research. 2020;8(2):1081–1119.
2. Jeswani, H.K., Azapagic A. Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. Waste Manag. 2016;50:346–363.
3. Метод экспериментального определения токсичности отходов производства: Инструкция по применению № 044–1215, утв. Гл. гос. сан. Врача Респ. Беларусь от 07.04 2016. Минск, 2015.
4. Камлюк С.Н., Борис О.А, Ильюкова И.И. Оценка токсичности отходов гальванического производства с применением беспозвоночных животных. Вестник фонда фундаментальных исследований. 2020;1:59–68.
5. Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь ОКРБ 021-2019: утв. Постановлением М-ва природ. ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь 09.09.2019 № 3-Т. Минск, 2019. 88 с. / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 27.09.2019, 8/34631 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://pravo.by/upload/docs/op/W21934631p_1569531600.pdf. Дата доступа: 26.02.2021.

References:

1. Chinaza G.A. Hannington T., Chibueze G.A. Industrial Waste Management, Treatment, and Health Issues: Wastewater, Solid, and Electronic Wastes. European Academic Research. 2020;8(2):1081–1119.
2. Jeswani, H.K., Azapagic A. Assessing the environmental sustainability of energy recovery from municipal solid waste in the UK. Waste Manag. 2016;50:346–363.
3. The method of experimental determination of industrial waste toxicity: Instructions for use No. 044-1215, approved. Ch. State Doctor. Rep. of Belarus, of 07.04 2016. Minsk, 2015.
4. Kamlyuk S.N., Boris O.A., Ilyukova I.I. Assessment of waste toxicity from electroplating production with the use of invertebrates. Bulletin of the Fund for Fundamental Research. 2020;1:59–68.
5. Classifier of waste generated in the Republic of Belarus OKRB 021-2019. Approved by the decree of the Ministry of natural resources and environment protection. Rep. of Belarus of 09.09.2019 No. 3-T. Minsk, 2019. 88 p. / National legal Internet portal of the Republic of Belarus, 09/27/2019, 8/34631 Available at: http://pravo.by/upload/docs/op/W21934631p_1569531600.pdf.

Поступила/Received: 03.03.2021.

Принята в печать/Accepted:10.03.2021.