



EDN: <https://elibrary.ru/cjvhkq>

УДК 574.474:504.73.05/.06

DOI: 10.33075/2220-5861-2023-1-77-88

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ТОКСИЧНОСТИ СРЕД, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОРГАНИЧЕСКИМ ВЕЩЕСТВАМ

А.В. Смирнов, М.И. Семенова, А.С. Ковалевская, О.В. Смолова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В.И. Ульянова (Ленина), РФ, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5  
E-mail: [smi-2409@yandex.ru](mailto:smi-2409@yandex.ru)

Необходимость проведения комплексного анализа токсичности сред, относящихся к органическим веществам, основывается на возможном влиянии факторов, не учитываемых утвержденными методиками. Проводился анализ токсичности элементов солнечных панелей Eva и Tedlar по хемотаксической реакции инфузории *Paramecium caudatum* Ehrenberg с учетом факторов температуры, времени выдержки и использования в качестве экстрагентов минеральной воды и 1% раствора ацетона, степень воздействия которых оказалась существенной. Проводились исследования куриного помета и лигносульфоната натрия с использованием различных тест-объектов и методов анализа. По полученным данным были построены ряды чувствительности тест-объектов к данным отходам.

**Ключевые слова:** Токсичность, биотестирование, *Paramecium caudatum*, *Chlorella vulgaris*, *Tetrahymena pyriformis*, пробоподготовка.

Поступила в редакцию: 09.11.2022. После доработки: 31.01.2023.

**Введение.** Токсичность подразумевает под собой интегральную характеристику качества исследуемой среды, описывая возможность данной среды оказывать вредное, патологической или летальное действие на живой организм. Подобная оценка качества различных сред крайне важна, так как позволяет без проведения комплекса анализов на отдельно взятые химические компоненты делать выводы о пригодности или непригодности объекта исследования к тому или иному виду использования. В условиях бурного развития промышленных отраслей, которое сопровождается ростом как общего количества отходов, так и появлением новых соединений, требующих исследования, все более актуальным требованием к методу экологического мониторинга является его экспрессность [1–4].

Данному требованию, в полной мере, отвечают методы биотестирования, исследующие токсичность компонентов в водных вытяжках с использованием простейших в качестве тест-объектов.

На данный момент разработаны, аккредитованы и приняты на вооружение многими лабораториями методики био-

тестирования, использующие как различные технологические методы анализа, так и различные тест-объекты.

Согласно утвержденным методикам [5–10] и др. методы оценки токсичности глобально можно разделить на следующие направления: численные методы учета (подсчет выживаемости/размножения), методы учета по хемотаксической реакции, фотометрические и флуориметрические методы.

Что касается тест-объектов и их реакций на присутствие в исследуемой среде токсикантов, наибольшее распространение получили следующие [11–13]:

1. Методики, основанные на хемотаксической реакции инфузории-туфельки *Paramecium caudatum* Ehrenberg.

2. Методики, основанные на замедленной флуоресценции и оптической плотности культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijer.

3. Методики, основанные на измерении выживаемости *Daphnia magna* Straus.

Данные тест-объекты популярны за счет широкого охвата анализируемых сред. Разработанные и утвержденные

методики позволяют определять токсичность природных, сточных, хозяйственно-бытовых и талых вод, отходы производства и потребления, а также вытяжки грунтов и донных отложений.

Отдельно стоит отметить такие тест-культуры, как инфузория *Tetrahymena pyriformis* Ehrenberg and Furgason и тест-системы бактерий *Escherichia coli* (Migula) Castellani and Chalmers. Первые позволяют анализировать продукты питания и корма, а уникальной чертой вторых является возможность определения токсичности морских вод [9–10].

Несмотря на факт широкого применения в аккредитованных лабораториях, есть основания полагать, что утвержденные методики могут некорректно отражать токсичность исследуемых сред. В первую очередь это касается сред, представляющих собой отходы с высоким содержанием органического вещества. [14].

Одним из оснований такого предположения является методика пробоподготовки анализируемых сред. Использование любого из тест-объектов, относящихся к простейшим, предполагает подготовку водной вытяжки из исследуемой среды. Универсальным для всех методик является использование дистиллята, с помощью которого производится разбавление исследуемой среды. Исключением является лишь методика [9], позволяющая использовать ацетон в качестве экстрагента.

Также отличительной особенностью подготовки водных вытяжек является время экстрагирования, которое, в большинстве случаев, не превышает и двух часов. Для случая сред с высоким содержанием органического вещества, которые могут быть труднорастворимыми или нерастворимыми вовсе, утвержденные методики предполагают использование тех же средств и способов пробоподготовки, что и для неорганических анализируемых сред.

Еще одним важным аспектом для сомнений в корректности утвержденных методик, являются биологические особенности тест-объектов. Органические вещества воспринимаются простейшими

как аттрактанты–“привлекательные” соединения, участвующие в метаболизме простейших. Такая особенность отмечается у инфузорий, как *P. caudatum*, так и рода *Tetrahymena*. [15].

Особенно важным это свойство является для методик, основанных на исследовании хемотаксической реакции. Так как оценка хемотаксической реакции предполагает, что при условии наложения двух сред (исследуемой и среды с простейшими), выход простейших в исследуемую среду обуславливается “привлекательностью” этой среды. Количественная оценка выхода простейших конвертируется в показатели токсичности среды.

Более того у данных видов простейших отмечается бурный рост в условиях помещения в среду с высоким содержанием органического вещества, что, в свою очередь, может оказывать влияние на методы анализа, основанные на мануальном подсчете выживаемости тест-объектов.

Важно отметить тот факт, что, для получения репрезентативной картины токсичности анализируемой среды, достаточным условием является сравнение среды на двух тест-объектах. А выбор тест-объектов не регламентируется.

В условиях непредсказуемого поведения тест-объекта имеет смысл построение рядов чувствительности, для дальнейшей регламентации выбора тест-объекта под конкретный тип или группу отходов. А также необходимы исследования увеличения количества сравниваемых тест-объектов для получения репрезентативной картины токсичности.

При этом актуальность исследования отходов, относящихся к органическим веществам, только растет. Во многом это объясняется общемировыми тенденциями на переработку и повторное использование отходов. Для случая органики, являющейся во многих случаях крайне полезным вторичным ресурсом, необходимость оценки токсичности, или иными словами опасности, можно считать основополагающей для предупреждения и снижения воздействия на окружающую среду [16].

В данной статье представлены результаты исследований, направленных на создание комплексного подхода к оценке токсичности отходов, являющихся органическими веществами. Объектами исследования были выбраны следующие отходы:

1. Компоненты солнечных панелей EVA (этиленвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид). Актуальность исследования которых объясняется ростом использования солнечных панелей для производства электроэнергии. Несмотря на тот факт, что солнечная энергия является экологически чистым и возобновляемым ресурсом, сами солнечные панели имеют сравнительно недолгий срок службы (20–30 лет) и в 90% случаев отработанные панели захоранивают на полигонах. Воздействие компонентов отработанных солнечных панелей на окружающую среду является малоизученным.

2. Куриный помет, образованный в ходе деятельности птицеводческой промышленности. Данный вид отхода является ценным вторичным ресурсом, который можно использовать для получения электроэнергии. Более того образуется в крупных масштабах, пропорциональных произведенной продукции. Поэтому исследования токсичности необходима для лучшего понимания вида обращения с данным отходом.

3. Лигносulfонат натрия. Производится при сульфатной обработки древесины с целью получения целлюлозы. Обработка представляет собой процесс варки древесной щепы с добавлением водного раствора, содержащего гидроксид и сульфид натрия. Данный вид отхода находит применения в создании стройматериалов, производства бетона и буровых растворов. Однако, масштабы образования отхода указывают на необходимость оперативного и комплексного исследования воздействия на окружающую среду.

Рассматриваемые виды отходов являются актуальными и малоизученными, с точки зрения, определения токсичности экспресс-методами. А постоянный рост образования данных отходов и их

непосредственное воздействие на окружающую среду, лежат в основе необходимости разработки методик интегральной оценки опасности, исходящей от сырья [16–21].

Однако, использование утвержденных методик, основываясь на вышеизложенных доводах, может быть недостаточным для получения корректной картины токсичности отходов.

В связи с чем встает вопрос о необходимости проведения исследований различных факторов пробоподготовки, способных исказить истинную токсичность анализируемой среды. А также исследований необходимости комплексного подхода определения токсичности отходов, являющихся органическими веществами.

**Материалы и методы.** В ходе исследования компонентов солнечных панелей EVA и Tedlar® определялся ряд факторов, способных оказывать воздействие на получаемую картину токсичности. В рамках эксперимента к таким факторам были отнесены: температура среды экстрагирования, время экстрагирования и среда для экстрагирования.

Факторы температуры и времени выдержки были обобщены. Температурой для экспериментов были выбраны значения 4°C и 35°C, эмулирующие предполагаемую температуру на полигонах в холодный и теплый период года. Привязка к таким значениям температуры обуславливалась тем, что большая часть отработанных панелей захоранивают на полигонах. Временем экстрагирования были выбраны 1, 7, 21, 28, 42 и 56 сут.

Методом анализа сред был выбран анализ по хемотаксической реакции инфузории *P. caudatum*. Для каждого значения температуры и времени выдержки приготавливалась водная вытяжка согласно [5]. Культивирование тест-объектов проводилось также согласно [5].

В качестве прибора-анализатора использовался Биотестер-2М. Подготавливались 10 кювет с исследуемой средой, на каждой из которых снималось по три показания прибора.

Получение индекса токсичности производилось расчетным методом. Анализ полученных данных проводился с использованием двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями.

Основные гипотезы, которые проверялись при анализе:

- фактор времени выдержки (фактор столбцов) не влияет на отклик;
- фактор температуры выдержки (фактор строк) не влияет на отклик;
- взаимодействие между факторами отсутствует.

Отдельно проводился эксперимент для определения зависимости индекса токсичности от среды экстрагирования.

В качестве экстрагентов применялись минеральная вода марки Вонаqua и 1% раствор ацетона. Выбор обуславливался тем, что состав данной минеральной воды идентичен составу среды Лозина-Лозинского, используемой для культивирования инфузорий, а 1% раствор ацетона использовался в утвержденной методике для комбикормов [9].

Пробоподготовка, аппаратный метод анализа и повторяемость результатов осуществлялась аналогично экспериментам по определению зависимости показателя индекса токсичности от температуры и времени выдержки.

Для сравнения влияния сред экстрагирования на получаемые индексы токсичности, также производились опыты с использованием дистиллированной воды в качестве экстрагента.

Отдельно ставились эксперименты с определением токсичности сред куриного помета и лигносульфоната натрия.

Основным научным интересом в данном случае являлся вопрос о сравнении различных тест-объектов и аппаратных методов исследования, с целью получения рядов чувствительности тест-объектов к выбранным анализируемым средам.

Тест-объектами были выбраны инфузории *P. caudatum*, *T. piriformis* и микроводоросли *C. vulgaris*.

Для случая анализа с использованием инфузорий применялся метод оценки по хемотоксической реакции простейших.

Пробоподготовка исследуемых сред и культивирование *P. caudatum* проводилась согласно методике [5]. Культивирование инфузорий производится согласно [9].

Однако, в целях получения гомогенного исследуемого раствора, было решено дополнительно перемешивать экстракт в течении двух часов на магнитной мешалке, а также для отделения крупнодисперсных не растворившихся фракций экстракт перед анализом пропускать через бумажные фильтры.

В качестве прибора-анализатора использовался Биотестер-2М. Подготавливались 10 кювет с исследуемой средой, на каждой из которых снималось по три показания прибора.

Получение индекса токсичности производилось расчетным методом.

Для случая анализа сред с использованием *C. vulgaris* применялся метод исследования оптической плотности взвеси микроводорослей.

Культивирование тест-объекта проводилось согласно методикам [8].

Прибором-анализатором был выбран измеритель оптической плотности ИПС-3. Культура с необходимой оптической плотностью объемом 2 мл смешивалась с испытуемой пробой объемом 48 мл. Далее смесь разливалась по кюветам объемом 6 мл. Измерения на приборе ИПС-3 проводят через 22 ч культивирования микроводоросли *C. vulgaris* на приборе КВ-05.

При проведении анализа снималось три показания с одной кюветы испытуемой пробы и одной кюветы контрольной пробы. Для повешения репрезентативности результатов использовались 2 кюветы.

Водная вытяжка исследуемых сред готовилась аналогично опытам с использованием инфузорий в качестве тест-объектов.

Результаты индекса токсичности определялись расчетным методом согласно [8].

**Полученные результаты.** В ходе исследования влияния факторов температуры и времени выдержки на компо-

ненты солнечных панелей EVA и Tedlar® были получены матрицы данных индекса токсичности (табл. 1–2).

Данные обрабатывались с помощью двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями, где проверялась нулевая гипотеза о влиянии факторов эксперимента на индекс токсичности.

Для компонента Eva были получены результаты о том, что при нулевой гипотезе различия между дисперсии могут превышать значения, полученные на представленном экспериментальном ма-

териале (уровни значимости, с которыми соответствующие нулевые гипотезы могут быть отвергнуты) (рис. 1). Что говорит о достоверности влияния факторов на компонент (вероятность ошибки меньше  $1e^{-11}$ ).

Аналогичным образом оценивалось влияние факторов на Tedlar (рис. 2). Для Tedlar показано, что в проведенных экспериментах наши факторы практически достоверно оказывают влияние на индекс токсичности (вероятности ошибки меньше  $1e^{-15}$  для факторов).

**Таблица 1.** Данные для двухфакторного анализа компонента Eva

Т, °С	Индекс токсичности					
	1 сут.	7 сут.	21 сут.	28 сут.	42 сут.	56 сут.
4	0.0780	0.2440	0.3440	0.3620	0.3910	0.4160
	0.0690	0.2430	0.3490	0.3620	0.3890	0.4250
	0.0860	0.2250	0.3480	0.3590	0.3910	0.4300
35	0.0910	0.3840	0.4250	0.4520	0.5210	0.5320
	0.0890	0.3540	0.4380	0.4460	0.5190	0.5300
	0.0900	0.3680	0.4330	0.4390	0.5160	0.5410

**Таблица 2.** Данные для двухфакторного анализа компонента Tedlar

Т, °С	Индекс токсичности					
	1 сут.	7 сут.	21 сут.	28 сут.	42 сут.	56 сут.
4	0.0450	0.3300	0.3680	0.3790	0.4650	0.4760
	0.0440	0.3190	0.3750	0.3830	0.4400	0.4720
	0.0860	0.3660	0.3650	0.3860	0.4320	0.5780
35	0.0650	0.4140	0.4510	0.4650	0.5120	0.5630
	0.0590	0.3930	0.4430	0.4580	0.5230	0.5860
	0.0077	0.4110	0.4490	0.4610	0.5160	0.5780

ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.62994	5	0.12599	2516.98	8.18003e-32
Rows	0.07627	1	0.07627	1523.67	3.13939e-23
Interaction	0.0145	5	0.0029	57.93	1.30988e-12
Error	0.0012	24	0.00005		
Total	0.72191	35			

**Рис. 1.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями для компонента Eva  
**Fig. 1.** Results of two-way analysis of variance with repetitions for the Eva component

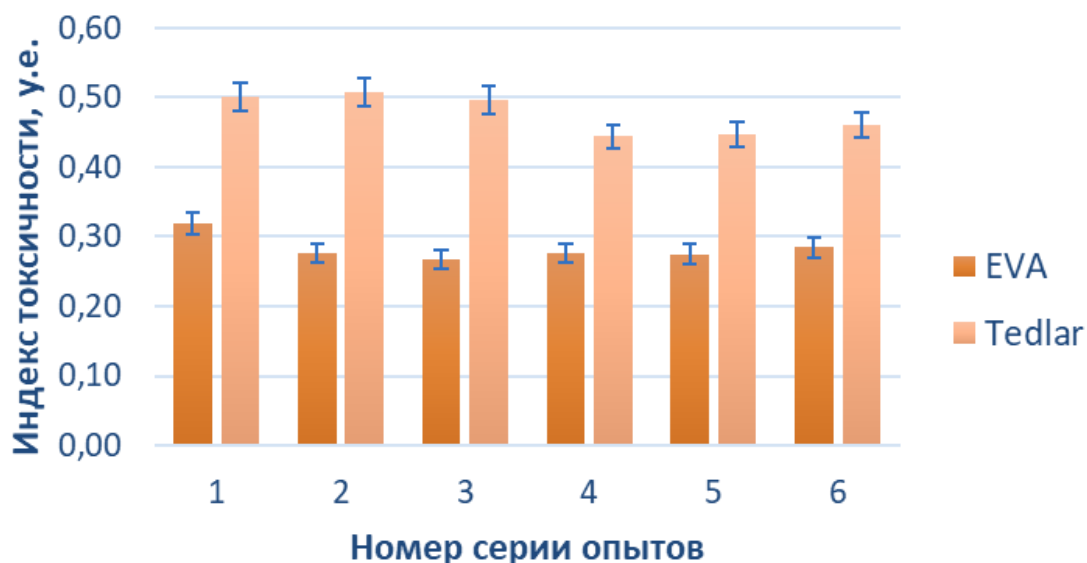
ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Columns	0.82806	5	0.16561	1425.99	7.33611e-29
Rows	0.04452	1	0.04452	383.34	2.9005e-16
Interaction	0.00567	5	0.00113	9.76	3.47835e-05
Error	0.00279	24	0.00012		
Total	0.88104	35			

**Рис. 2.** Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями для компонента Tedlar®  
**Fig. 2.** Results of two-way analysis of variance with repetitions for the Tedlar component

Анализ использования минеральной воды и 1% раствора ацетона подразумевал определение, в первую очередь, индексов токсичности, используемых экстрагентов. Экстрагенты – вещества, способные избирательно извлекать отдельные компоненты из их смеси. Согласно полученным данным индексы их токсич-

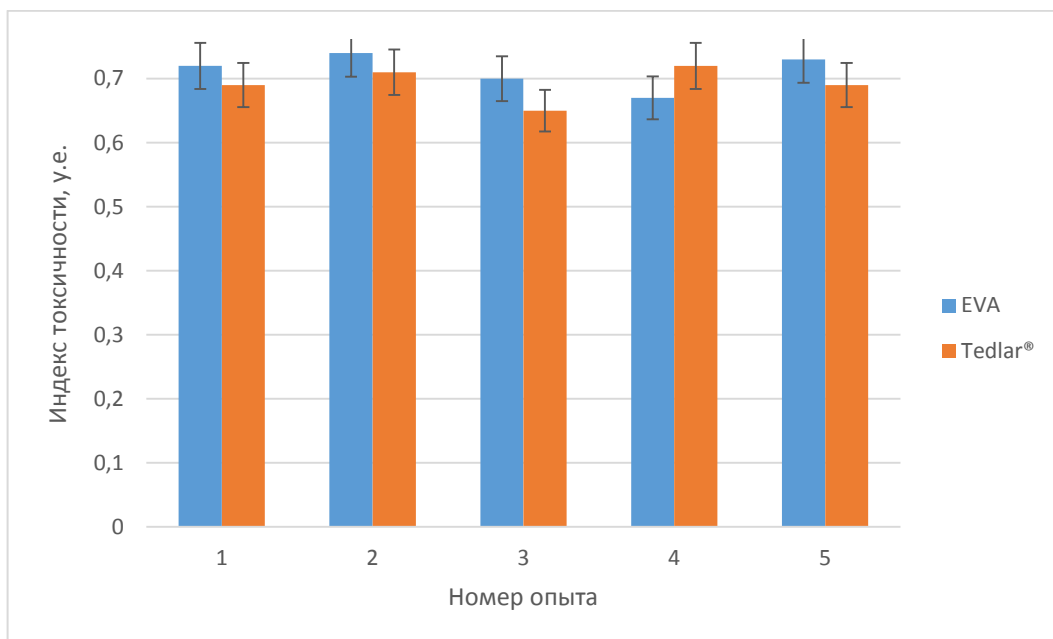
ности не превышали значений  $0,07 \pm 0,01$ , что свидетельствует о безопасности для тест-объектов.

В ходе определения индекса токсичности компонентов солнечных панелей были получены данные, усредненные для каждого из опытов (рис. 3–4).



**Рис. 3.** Результаты определения индексов токсичности для компонентов Eva и Tedlar при использовании минеральной воды в качестве экстрагента

**Fig. 3.** The results of toxicity determination of components Eva and Tedlar with using mineral water as extract



**Рис. 4.** Результаты определения индексов токсичности для компонентов Eva и Tedlar® при использовании 1% раствора ацетона в качестве экстрагента

**Fig. 4.** The results of toxicity determination of components Eva and Tedlar with using 1% acetone solution as extract

Помимо экспериментов с выбранными экстрагентами проводились аналогичные опыты с использованием дистиллированной воды. Сравнение полученных индексов токсичности приведено в табл. 3.

**Таблица 3.** Усредненные показатели индекса токсичности компонентов EVA и Tedlar® при использовании разных экстрагентов

Экстрагенты	Усредненные индексы токсичности	
	Eva	Tedlar®
Минеральная вода марки Bonaqua	0,28±0,02	0,47±0,02
1% раствор ацетона	0,71±0,02	0,69±0,02
Дистиллированная вода	0,15±0,02	0,23±0,02

Интерпретируя полученные результаты можно сделать вывод о том, что для случая стандартных методик с использованием дистиллированной воды, показатели токсичности компонентов солнечных панелей не превышают допустимых значений и могут считаться неопасными. Однако, уже для случая использования минеральной воды в качестве экстрагента, наблюдается рост среднего индекса, который показывает допустимую степень токсичности компонента Eva и умеренную степень компонента Tedlar. А для случая использования 1% раствора ацетона в качестве экстрагента степень токсичности компонентов достигает высоких показателей.

При исследовании токсичности куриного помета и лигносульфоната натрия проводился ряд экспериментов, предполагающих использование различных тест-объектов и методик анализа.

Согласно полученным данным (рис. 5–6) можно сделать следующие выводы:

1. При анализе токсичности куриного помета по хемотаксической реакции инфузории *P. caudatum* было установлено, что куриный помет имеет умеренную степень токсичности (индекс токсичности  $T=0,56$ ), при норме  $T<0,4$  [5].

Анализ этого отхода по хемотаксической реакции *T. piriformis*, напротив, показал, что куриный помет имеет допустимую степень токсичности ( $T=0,16$ ).

Использование культуры зеленой микроводоросли *C. vulgaris* показал, что сырье является токсичным (20,41%

подавление оптической плотности). Однако, несложно заметить, что подавление оптической плотности лишь на 0,41% выше установленных критериев токсичности [10]. В связи с чем можно сделать вывод о незначительной токсичности сырья.

Основываясь на полученных данных можно построить следующий ряд чувствительности используемых тест-культур к куриному помету:

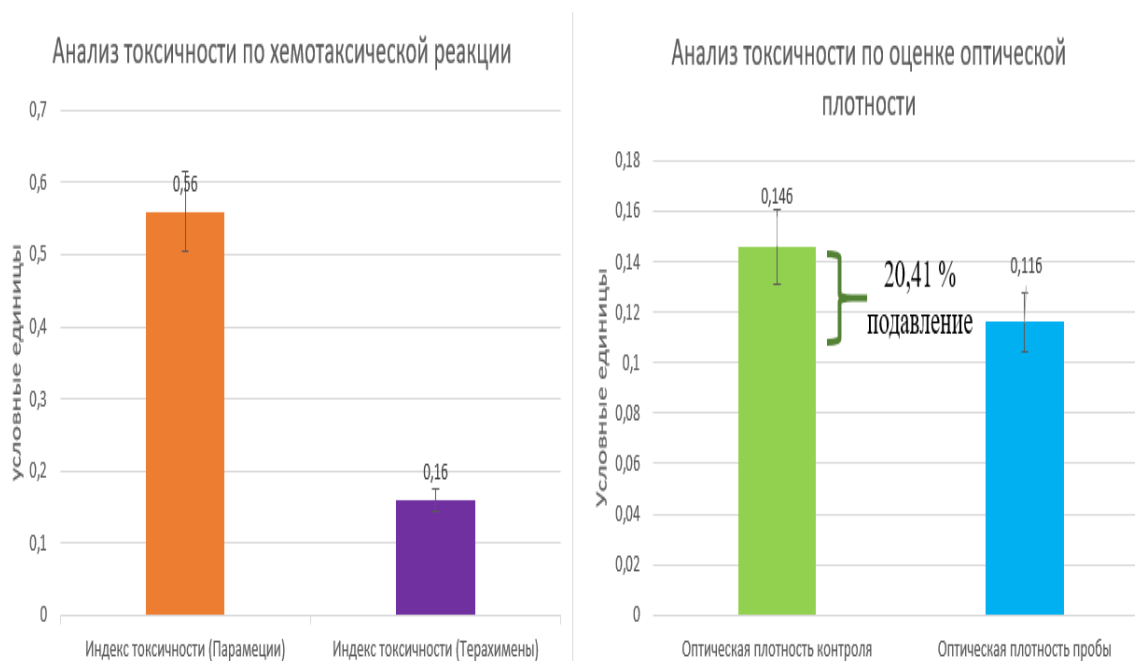
*P. caudatum* > *C. vulgaris* > *T. piriformis*.

Следовательно, наибольшую чувствительность к данному виду токсиканта проявляет инфузория парамеция и использование *P. caudatum* для оценки токсичности куриного помета является наиболее целесообразным.

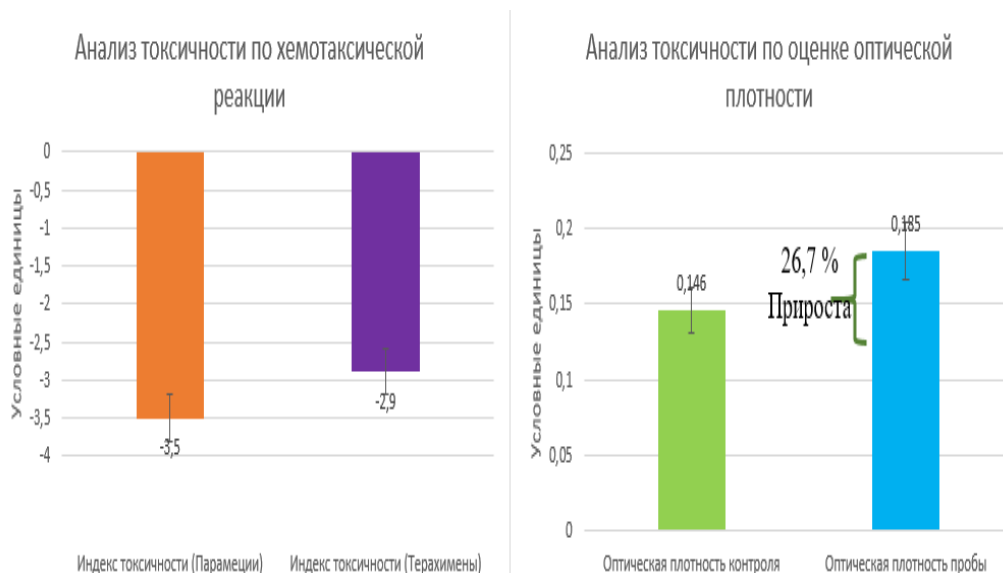
При анализе токсичности лигносульфоната натрия по хемотаксической реакции инфузорий, было установлено, что простейшие воспринимают среду как благоприятную. О чем свидетельствует отрицательный индекс токсичности. Благоприятность среды подтверждается и реакцией микроводоросли хлореллы, чей прирост составил 26,7%.

В целом данный вид отхода можно считать не токсичным. А построение рядов чувствительности в данном случае не представляется возможным, так как различия в индексах токсичности не существенны для случая анализа по хемотаксической реакции, а микроводоросли показали умеренный прирост, соответствующей благоприятной среде.





**Рис. 5.** Анализ токсичности куриного помета по хемотаксической реакции инфузорий *P. caudatum* и *T. piriformis* и по оценке оптической плотности микроводоросли *C. vulgaris*  
**Fig. 5.** The analysis of the toxicity of chicken manure by the chemotactic reaction of ciliates *P. caudatum* and *T. piriformis* and by assessing the optical density of *C. vulgaris*



**Рис. 6.** Анализ токсичности лигносульфоната натрия по хемотаксической реакции инфузорий *P. caudatum* и *T. piriformis* и по оценке оптической плотности микроводоросли *C. vulgaris*  
**Fig. 6.** Analysis of the toxicity of sodium lignosulfonate by the chemotactic reaction of ciliates *P. caudatum* and *T. piriformis* and by the assessment of the optical density of *C. vulgaris*

Основываясь на данных, полученных в результатах проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что оценка токсичности отходов, являющихся органическими веществами, требует более комплексного подхода.

**Закключение.** Согласно сформулированной проблеме, были проведены опыты по определению токсичности у таких отходов, как: элементы кристаллических солнечных панелей Eva и Tedlar, куриный помет и лигносульфонат натрия.

Согласно проведенным исследованиям для компонентов солнечных панелей были установлены существенные взаимосвязи влияния факторов температуры и времени выдержки на показатели токсичности, получаемые по методике [5]. Более того были установлены взаимосвязи между индексами токсичности компонентов солнечных панелей и типом выбранного экстрагента. Было установлено, что при использовании в качестве экстрагента минеральной воды марки Вонаqua замечается рост индекса токсичности, который для случая компонента Tedlar соответствовал умеренной степени токсичности ( $0,4 < T < 0,7$ ), что не соответствовало допустимой степени токсичности ( $T < 0,4$ ), получаемой при использовании дистиллированной воды в качестве экстрагента согласно [5]. При использовании в качестве экстрагента 1% раствора ацетона степень токсичности компонентов солнечных панелей достигала высоких показателей ( $T \geq 0,7$ ), при допустимой степени токсичности этих же компонентов в исследованиях, где использовалась дистиллированная вода в качестве экстрагента согласно [5].

Исследование куриного помета и лигносульфоната натрия позволило выявить ряды чувствительности тест-организмов к выбранным средам. Исследование показало, что использование *P. caudatum* для оценки токсичности куриного помета является наиболее целесообразным. Исследование лигносульфоната натрия показало, что, в целом, данный вид отхода не является токсичным, так как все тест-объекты, на которых проводилось исследование (*P. caudatum*, *C. vulgaris*, *T. piriformis.*), воспринимали отход, как благоприятную среду.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев С.В., Пименова Е.В., Жакова С.Н. Биотестирование в экологическом мониторинге: Учебное пособие. Пермь.: Изд-во ИПЦ «Прокрость», 2020. 91 с.
2. Щеткина Т.Н. Использование автоматизированной биотехнической системы и простейших одноклеточных

организмов для биотестирования объектов окружающей среды: Автореф. дис. канд. биол. наук. Калуга: 2007. 27 с.

3. Чеснокова С.М., Чугай Н.В. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: Учебное пособие: в 2 ч. Ч. 2: Методы биотестирования. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2008, 92 с.

4. Тихановская, Г.А., Машихина Ю.В. Биологический контроль окружающей среды: метод. указ. к вып. лаб. раб. Вологда: Изд-во ВоГУ, 2016. 39 с.

5. ПНД Ф Т 16.3.16-10 (ред. 2015 г.). Природоохранный нормативный документ федеративный. Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением приора серии «Биотестер». 2015. 22 с.

6. ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06. Природоохранный нормативный документ федеративный. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg (ЛЭТАП, МГУ). 2006. 39 с.

7. ПНД Ф Т 16.3.12-07. Природоохранный нормативный документ федеративный. Методика определения токсичности золошлаковых отходов методом биотестирования на основе выживаемости парамеций и цериодафний (ф-т почвоведения МГУ и ОАО «Всероссийский теплотехнический институт»). 2007. 27 с.

8. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04, 16.1:2:2.3:3.7-04. Природоохранный нормативный документ федеративный. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли Хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. 2014. 38 с.

9. ГОСТ 31674-2012. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма,

комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности. 2013. 56 с.

10. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.1-96, 16.2:2.2.1-96. Природоохранный нормативный документ федеративный. Токсикологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, почв и донных отложений по ферментативной активности бактерий (колориметрическая реакция). 1996. 12 с.

11. Лисицкая Т.Б. Биотестирование с использованием инфузорий: Автореф. дис. канд. биол. наук. СПб: СПбГТИ, 2007. 120 с.

12. Виноходов Д.О. Научные основы биотестирования с использованием инфузорий: Автореф. дис. доктора биол. наук. Санкт-Петербург: СПб. гос. технол. ин-т, 2007. 40 с.

13. Захаров И.С., Завгородний А.В., Ковалевская А.С. Биологические реакции для комплексного тестирования токсичности среды // Труды Второго Международного научного конгресса «Нейробиотелеком-2006»: Санкт-Петербург, 2006. С. 209–210.

14. Олькова А.С. Разработка стратегии биотестирования водных сред с учетом многофакторности ответных реакций тест-организмов: Дисс. ... докт. биол. наук (спец. 03.02.08). Киров: 2020, ВГУ, 359 с.

5. Полозюк О.Н., Ушакова Т.М. Гематология: Учебное пособие. Персиановский.: Донской ГАУ, 2019. 159 с.

16. Голицын А.Н. Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды // Учебник. М.: ОНИКС. 2007. 335 с.

17. Deng R. , Chang N. L., Ouyang Z., Chong C. M. A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. № 109. pp. 532–550.

18. Jordan D.C., Kurtz S.R. Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review. *National Renewable energy Laboratory Journal Article*. 2012. № NREL/ JA-5200-51664. pp. 32–41.

19. Малютина Л.А. Почвенная утилизация отходов птицеводства в лесостепной зоне Алтайского Приобья: автореф. дисс. канд. тех. наук. Барнаул: ФГБОУ ВО. 2017. 32 с.

20. Савич В.И., Седых В.А., Поветкина Н.Л. Оценка влияния птичьего помета на состояние почв, воздушной и водной среды // *Агрохимический вестник*. 2013, № 1. С. 3–36.

21. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. М.: Лесная промышленность, 1983. 200 с.

#### A COMPREHENSIVE APPROACH TO TOXICITY ASSESSMENT OF ORGANIC SUBSTANCES DETERMINATED AS SECONDARY MATERIALS

A.V. Smirnov, M.I. Semenova, A.S. Kovalevskaya, O.V. Smolova

St. Petersburg State Electrotechnical University "LETI",  
RF, St.Petersburg, Professor Popov St., 5

The need for a comprehensive analysis of environmental toxicity related to organic substances is based on the possible influence of factors that are not taken into account by the approved methods. The toxicity of solar panel elements Eva and Tedlar was analyzed according to the chemotactic reaction of *Paramecium caudatum*, considering the factors of temperature, exposure time and the use of mineral water and 1% acetone solution as extractants, the degree of impact of which turned out to be significant. Studies of chicken manure and sodium lignosulfonate were carried out using various test objects and analysis methods. Based on the data obtained, series of sensitivity of test objects to these wastes were constructed.

**Keywords:** Toxicity, biotesting, *Paramecium caudatum*, *Chlorella vulgaris*, *Tetrahymena pyriformis*, sample preparation.

### REFERENCES

1. *Lihachev S.V., Pimenova E.V., and Zhakova S.N.* Biotestirovanie v ekologicheskom monitoringe (Biotesting in the environmental monitoring). Perm: Izd-vo IPC "Pokrost", 2020, 91 p.
2. *Shetkina T.N.* Ispolpolzovanie avtomatizirovannoy biotekhnicheskoi sistemy i prosteishih odnokletochnih organizmov dlya biotestirovaniya objectov okruzhaushei sredy: Aftoref. diss. kand. biol. nauk (The use of the automated biotechnical system and the simplest unicellular organisms for biotesting of environmental objects. Cand. biol. sci. thesis). Kaluga, 2007, 27 p.
3. *Chesnokova C.M. and Chugai N.V.* Biologicheskie metody ocenki kachestva ob`ectov okruzhayushchej sredy (Biological estimation methods of objects of environmental quality). Vladimir: Izd-vo VIGU, 2008, 92 p.
4. *Tichanovskay G.A. and Mashihina U.V.* Biologicheskii control okruzhayushchej sredy (Biological control of environment). Vologda: Izd-vo VoGU, 2016, 39 p.
5. *PND F T 16.3.16-10* (Russian standard), Moscow: 2015, 22 p.
6. *PND F T 14.1:2:3.13-06* (Russian standard), Moscow: 2006, 39 p.
7. *PND F T 16.3.12-07* (Russian standard), Moscow: 2007, 27 p.
8. *PND F T 14.1:2:3:4.10-04, 16.1:2:2.3:3.7-04* (Russian standard), Moscow: 2014, 38 p.
9. *GOST 31674-2012* (Interstate standard), Moscow: Standartinform, 2015, 22 p.
10. *PND F T 14.1:2:3:4.1-96, 16.2:2.2.1-96* (Russian standard), Moscow: 1996, 12 p.
11. *Lisickya T.B.* Biotestirovanie s ispolzovaniem infuzorii: Diss. kand. biol. nauk (Biotating with using of infuzoria. Cand. biol. sci. thesis). Saint-Petersburg: SPbGTI, 2007, 120 p.
12. *Vinohodov D.O.* Nauchnie osnovi biotestirovaniya s ispolzovaniem infuzorii: Aftoref. diss. doc. biol. nauk. (Scientific basis of biotesting using infusoria: Aftoref. diss. doc. biol. sci. thesis). Saint-Petersburg: SPbGTU, 2007, 40 p.
13. *Zaharov I.S., Zavgorodnii A.V., and Kovalevskay A.S.* Biologicheskie reakcii dlya kompleksnogo testirovaniya toksichnosti sredi (Biological reactions for complex environmental toxicity testing). Trudy Vtorogo Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa "Neirobiotelemekom-2006", 2006, pp. 209–210.
14. *Olkova A.S.* Razrabotka strategii biotestirovaniya vodnih sred s uchetom mnogofactornosti otvetnih reakcij: Diss. doc. bio. nauk (Development of a strategy for biotesting of aquatic environments, taking into account the multifactorial nature of responses to the reactions of test organisms: Doc. biol. sci. thesis). Kirov: VGU, 2020, 359 p.
15. *Polozuk O.N. and Ushakova T.M.* Gematologia (Hematology). Persianovskiy: Izd-vo Donskoy GAU, 2019, 159 p.
16. *Golicyn A.N.* Promyshlennaya ekologiya i monitoring zagryazneniya prirodnoi sredy (Industrial ecology and environmental pollution monitoring). Moscow: ONIKS, 2007, 335 p.
17. *Deng R., Chang N.L., Ouyang Z., and Chong C.M.* A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019, No. 109, pp. 532–550.
18. *Jordan D.C. and Kurtz S.R.* Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review. *National Renewable energy Laboratory Journal Article*. 2012. No. NREL/ JA-5200-51664. pp. 32–41.
19. *Malutina L.A.* Pochvennaya utilizaciya othodov pticevodstva v lesostepnoi zone Altaiskogo Priob'ya: aftoref. kand. the. nauk (Soil disposal of poultry waste in the forest-steppe zone of the Altai Ob region: Aftoref. cand. tech. sci. thesis), Barnaul: FGBOU VO, 2017, 32 p.
20. *Savich V.I., Sedyh V.A., and Povetkina N.L.* Ocenka vliyaniya ptichego pometa na sostoyanie pochv, vozdushnoi i vodnoi sredy (Assessment of the impact of bird litter on the state of soil, air and water environment). *Agrohimicheskij vestnik*, 2013, No. 1, pp. 33–36.
21. *Chudakov M.I.* Promyshlennoe ispolzovanie lignina (Industrial uses of lignin). Moscow: Lesnaya promyshlennist', 1983, 200 p.