



## ОСОБЕННОСТИ ПРОБОПОДГОТОВКИ ВОДНЫХ ВЫТЯЖЕК КОМПОНЕНТОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В ЦЕЛЯХ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Семенова\* М.И., Смирнов А.В., Веженкова И.В., Кустов Т.В., Ковалевская А.С.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), г. Санкт-Петербург, Россия  
ORCID\*: <http://orcid.org/0000-0001-6644-7663>, [smi-2409@yandex.ru](mailto:smi-2409@yandex.ru)

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Выявление зависимостей индекса токсичности компонентов кристаллических солнечных панелей EVA (этиленвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид) от факторов пробоподготовки водных вытяжек, используемых при биотестировании по хемотаксической реакции тест-объектов *Paramecium caudatum* с использованием в качестве прибора-анализатора Биотестер-2М. К таким факторам были отнесены: температура экстракта, время выдержки экстракта исследуемых объектов в дистиллированной воде и использование других сред экстрагирования. *МЕТОДЫ.* В ходе исследования использовался метод биотестирования по хемотаксической реакции *Paramecium caudatum*. В опытах приготавливалась водная вытяжка согласно ПНД Ф Т 16.3.16-10. Полученные вытяжки анализировались на приборе Биотестер-2М. Для каждого номера опыта проводилось исследование в трех кюветах, с каждой из которых прибор снимал 10 значений. Для оценки влияния факторов температуры экстракта и времени выдержки проводился эксперимент для температур 4°C и 35°C, позволяющие учитывать температуру на полигонах твердых бытовых отходов в разное время года. Временем экстрагирования были выбраны 1, 7, 21, 28, 42 и 56 суток. Анализ данных проводился с помощью двух факторного дисперсионного анализа с повторениями, реализованный средствами MatLab®. Для оценки влияния среды экстрагирования проводился эксперимент с заменой дистиллированной воды в качестве экстрагента на минеральную воду марки Вонаква и 1% раствор ацетона. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* Произведен расчет вероятности ошибки гипотезы о влияние факторов температуры и времени выдержки экстракта на индекс токсичности при заданных уровнях значимости. Произведен сравнительный анализ усредненных индексов токсичности для исследуемых сред экстрагирования с дистиллированной водой, используемой в качестве среды экстрагирования в утвержденных методиках биотестирования. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Для случая сложных органических соединений, таких как EVA (этиленвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид), индексы токсичности будут зависеть от ряда факторов: температуры экстракта, времени выдержки компонентов в экстракте и среды экстрагирования.

**Ключевые слова:** *Paramecium caudatum*; кристаллические солнечные панели; EVA; Tedlar®; среда экстрагирования; температура экстракта; время выдержки экстракта.

**Для цитирования:** Семенова М.И., Смирнов А.В., Веженкова И.В., Кустов Т.В., Ковалевская А.С. Особенности пробоподготовки водных вытяжек компонентов солнечных панелей в целях биотестирования // Известия высших учебных заведений. проблемы энергетики. 2022. Т.24. № 3. С. 211-220. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-211-220.

## FEATURES OF WATER EXTRACTS SAMPLE PREPARATION OF SOLAR PANELS COMPONENTS FOR BIOTESTING

M Semenova\*, A Smirnov, I Vezhenkova, T Kustov, A Kovalevskaya

Saint-Petersburg electrotechnical university «LETI», Saint-Petersburg, Russia  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6644-7663>, [smi-2409@yandex.ru](mailto:smi-2409@yandex.ru)

**Abstract:** *THE PURPOSE.* Detection of the dependences between the toxicity index of the components of crystalline solar panels EVA and Tedlar® and the factors of sample preparation of water extracts used in biotesting on the chemotactic reaction of *Paramecium caudatum* test

objects using Biotester-2M as an analyzer. These factors included: the temperature of the extract, the exposure time of the extract of the studied objects in distilled water, and the use of otherkind of extract. **METHODS.** In the course of the study, the biotesting method for the chemotactic reaction of *Paramecium caudatum* was used. In the experiments, an aqueous extract was prepared in accordance with PND F T 16.3.16-10. The resulting extracts were analyzed on a Biotester-2M device. For each experiment number, a study was carried out in three cuvettes, from each of which the device took 10 values. To assess the influence of extract temperature factors and exposure time, an experiment was carried out for temperatures of 4°C and 35°C, which allow taking into account the temperature at solid waste landfills at different times of the year. The extraction times were chosen to be 1, 7, 21, 28, 42 and 56 days. Data analysis was carried out using two-way replicated analysis of variance implemented using MatLab® tools. To assess the effect of the extraction medium, an experiment was carried out with the replacement of distilled water as an extract with mineral water of the Bonaqua brand and 1% acetone solution. **RESULTS.** The error probability of the hypothesis about the influence of temperature and exposure time factors of the extract on the toxicity index was calculated at given significance levels. A comparative analysis of the average toxicity indices for the studied extraction media with distilled water, which is used as an extraction medium in approved biotesting methods, was carried out. **CONCLUSION.** For complex organic compounds such as EVA and Tedlar® the toxicity indices will depend on a number of factors: the temperature of the extract, the residence time of the components in the extract, and the extraction medium.

**Keywords:** *Paramecium caudatum*; crystalline solar panels; EVA, Tedlar®; extraction medium; extract temperature; extract holding time.

**For citation:** Semenova M, Smirnov A, Vezhenkova I, Kustov T, Kovalevskaya A. Features of water extracts sample preparation of solar panels components for biotesting. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2022;24(3): 211-220. doi:10.30724/1998-9903-2022-24-3-211-220.

### **Введение**

В современном мире бурное развитие промышленности и рост производственных технологий не возможны без сопутствующего антропогенного воздействия, что, в свою очередь, приводит к необходимости обеспечения сохранности экосистем и здоровья населения.

Для решения данной проблемы необходим контроль за состоянием природной среды, который должен отвечать критериям точности наблюдений, их достоверности, и, что не менее важно, оперативности получения данных, так как количество потенциальных загрязнителей из года в год только увеличивается [1-3].

Именно поэтому в экологическом мониторинге используются методы биотестирования, которые представляют собой комплексную оценку исследуемой среды с получением информации о токсичности объекта. Токсичность, в свою очередь, представляет собой степень вредного воздействия химического соединения или группы соединений. Биотестирование основывается на использовании живых тест-объектов, а оценка токсичности проводится на основании их поведенческих особенностей, изменения морфологических и метаболических параметров, а также по выживанию вида в целом.

Одним из самых распространённых методов является определение индекса токсичности исследуемой среды по хемотаксической реакции инфузорий *Paramecium caudatum*. А спектр анализируемых сред включает в себя сточные, талые, природные, морские воды, водные вытяжки из грунтов, почв, отходов, донных отложений, продуктов питания как человека, так и животных.

Особое распространение инфузории получили благодаря ярко выраженным геотаксическим и хемотаксическим реакциям. Геотаксическая реакция выражается в свойстве простейших занимать верхние слои жидкости, в которой они находятся. Иными словами, у инфузорий наблюдается отрицательный геотаксис- свойство плыть против силы притяжения. Хемотаксическая реакция представляет собой ответную двигательную реакцию простейших на присутствующие в среде химические элементы-токсиканта. В случае, если химические элементы распознаются, как “непривлекательные”-потенциально опасные для метаболизма, то инфузории будут стремиться в зоны с наименьшими концентрациями данного химического элемента. Важно отметить тот факт, что хемотаксическая реакция простейших сильнее геотаксической.

Метод количественной оценки двигательных реакций *Paramecium caudatum* на

присутствие того или иного химического элемента или группы соединений возможен при создании стабильного во времени градиента концентраций исследуемой среды и среды заведомо благоприятной для инфузорий. При этом градиент должен создаваться таким образом, чтобы исследуемая среда была наслоена поверх среды с простейшими. Геотаксическая реакция вынуждает инфузорий двигаться в верхние слои жидкости, однако, при условии высокой токсичности исследуемой среды, будет наблюдаться минимальный выход простейших из заведомо благоприятных слоев.

Данные принципы лежат в основе устройства Биотестер-2 – прибора, считывающего изменение потока прошедшего излучения. Кювета, содержащая градиентную среду, помещается между источником света и приемником. От излучателя испускается световой поток, определенной площади. Каждый объект при пересечении потока взаимодействует с излучением, как прозрачная сфера, подчиняющаяся законам геометрической оптики, изменяя интенсивность прошедшего излучения. Изменение интенсивности будет фиксировать фотоприемник, на который приходит луч света. При этом количественное изменение интенсивности света пропорционально количеству инфузорий, а количество инфузорий конвертируется в индекс токсичности исследуемой среды. [4-8]

Согласно утвержденным методикам ПНД Ф Т 16.3.16-10 (ред. 2015 г.), ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06, ПНД Ф Т 16.3.12-07 и др. для проведения анализа токсичности необходимы этапы пробоподготовки. Стоит отметить тот факт, что при подготовке среды, будь то отходы, грунт или вода, исследуемым объектом будет являться водная вытяжка приготовленная, в большинстве случаев, на основе экстракта с дистиллированной водой. Методы пробоподготовки подразумевают, что перемешивание объекта с дистиллированной водой с помощью центрифугирования в течении получаса и дальнейшее экстрагирование в течении не более, чем двух часов, позволяет получить достаточно репрезентативную водную вытяжку, способную давать полноценную картину об исследуемом объекте. Исключение в пробоподготовке составляют лишь методики для определения токсичности комбикормов, позволяющие использовать водный раствор ацетона, в котором экстрагируется проба.

На данный момент, утвержденных методик пробоподготовки для органических веществ и сред с высоким содержанием органических соединений с использованием в качестве тест-организма инфузорий, не существует. Особый интерес вызывает тот факт, что *Paramecium caudatum* относятся к виду мезосапроб-простейших способных размножаться в полуанаэробных и анаэробных условиях, например, в водоемах с большим количеством органического вещества. Более того органические вещества воспринимаются простейшими как аттрактанты-“привлекательные” соединения, участвующие в метаболизме инфузорий.

Также остро стоит вопрос о достаточности утвержденных методик пробоподготовки для случая труднорастворимых или вовсе нерастворимых в дистиллированной воде соединений.

Одним из примеров таких соединений являются компоненты поликристаллических солнечных панелей.

Несмотря на то, что солнечная энергия сама по себе является возобновляемым, экологически чистым ресурсом, солнечные панели со временем приходят в негодность и их необходимо заменять новыми. В среднем срок службы солнечной панели варьируется от 20 до 30 лет, прежде чем модуль выйдет из строя. Причинами могут служить: воздействие ультрафиолета и влаги, разрушение компонентов устройства, таких как этиленвинилацетатная пленка в кристаллических солнечных панелях и т.д

Многие страны еще не имеют развитой системы их утилизации, так как солнечные батареи введены в эксплуатацию относительно недавно. Сегодня последним этапом жизненного цикла примерно 90% всех солнечных панелей является захоронение. Однако некоторые компоненты, такие как фотоэлектрический элемент, каркас, можно использовать повторно. . [9-11]

Помимо основного фотоэлемента и стекла, кристаллическая солнечная панель включает EVA (этиленвинилацетат) и Tedlar® (поливинилфторид)- полимерные материалы, токсичность и химическая инертность которых мало изучены.

Более того общемировые тенденции на возобновляемые и экологически чистые источники энергии, а также их эффективность и экономическая целесообразность, ведут к общему увеличению объемов использования солнечных панелей.

На данный момент проводились эксперименты по определению индекса токсичности данных компонентов солнечных панелей, представленные в работах [12-13].

Исходя из полученных данных которых можно сделать вывод о том, что *EVA* (этиленвинилацетат) и *Tedlar®* (поливинилфторид) имеют допустимую степень токсичности для случая стандартных методик биотестирования. Однако, в работах замечается тенденции, в которых при увеличении времени экстрагирования и температуры экстракта замечается рост индекса токсичности. Что может говорить о необходимости изучения степени данной зависимости и необходимости выявления других факторов, способных оказывать влияние на получаемый результат.

Таким образом, можно прийти к выводу, что исследование токсичности компонентов солнечных панелей, таких как *EVA* и *Tedlar®*, является крайне актуальным в условиях их распространяющегося использования и неизученности.

В связи с тем, что данные компоненты представляют собой сложные органические соединения, то особый интерес вызывает необходимость выявления факторов способных оказывать влияние на получаемую картину токсичности.

Данная работа направлена на количественное определение индекса токсичности компонентов поликристаллических солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®*, а также определение факторов, влияющих на токсичность данных компонентов.

Научная значимость работы заключается в выявлении зависимостей между значением индекса токсичности и факторов различной природы, влияющих на процедуру пробоподготовки водных вытяжек для проведения биотестового анализа компонентов солнечных панелей с использованием *Paramecium caudatum* в качестве тест-объекта. Среди таких факторов рассматриваются следующие: температура среды экстрагирования, время экстрагирования и среда для экстрагирования. Проводимые ранее исследования уже показывали зависимость индексов токсичности от температуры и выдержки. А особенности используемых тест-объектов и свойства исследуемых компонентов ставят под сомнение целесообразность использования стандартных методик пробоподготовки для биотестового анализа.

Практическая значимость исследования влияния данных факторов состоит в том, что изучение токсичности компонентов солнечных панелей позволит разработать новые методы утилизации солнечных панелей, и, как следствие, к более эффективному их использованию.

#### **Материалы и методы исследования**

В ходе представленного исследования основной целью ставилось выявление факторов, способных оказывать влияние на токсичность компонентов поликристаллических солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®*. К таким факторам были отнесены: температура среды экстрагирования, время экстрагирования и среда для экстрагирования.

Для определения вышеизложенных факторов исследование было разделено на несколько частей:

1. Определение зависимости индекса токсичности компонентов солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®* от температуры среды экстрагирования и времени выдержки.

Для выявления зависимости индекса токсичности от температуры и времени выдержки проводился эксперимент для температур 4°C и 35°C, позволяющие учитывать температуру на полигонах твердых бытовых отходов в разное время года. Временем экстрагирования были выбраны 1, 7, 21, 28, 42 и 56 суток.

В качестве тест-организмов использовались инфузории *Paramecium caudatum*. Для каждого значения температуры и времени выдержки приготавливалась водная вытяжка согласно ПНД Ф Т 16.3.16-10. В качестве прибора-анализатора использовался Биотестер-2М.

Получение индекса токсичности производилось расчетным методом при сравнении индексов токсичности в контрольной пробе и исследуемой. Для каждого значения исследуемой пробы снималось по три показания прибора, согласно ПНД Ф Т 16.3.16-10/

Для анализа полученных данных применялся двухфакторный дисперсионный анализ с повторениями, который позволяет проверить следующие гипотезы:

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

Дисперсионный анализ проводился с помощью *Matlab*, с использованием встроенной функции *anova2*. (*MarDisp.m*).

2. Определение зависимости индекса токсичности от среды экстрагирования компонентов солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®*.

Также проводился эксперимент для определения зависимости индекса токсичности

от среды экстрагирования. В качестве исследуемых сред экстрагирования использовалась минеральная вода марки *Bonaqua* и 1% раствор ацетона.

Выбор марки минеральной воды обусловлен рядом причин. Состав *Bonaqua* жестко ограничен. Сравнительный анализ показал, что качественный состав *Bonaqua* идентичен составу среде Лозина-Лозинского, являющейся оптимальной средой для культивации и содержания инфузорий. Единственное отличие- концентрации ионов в минеральной воде несколько выше, чем в среде Лозина-Лозинского. Данные свойства минеральной воды приближают ее состав к среде полигонов, на которых размещаются кристаллические панели, что объясняет выбор данного экстрагента и его научную значимость. Для исключения возможности губительного воздействия минеральной воды на тест-организмы, сначала был проведен ряд опытов, где *Bonaqua* рассматривалась в качестве анализируемой пробы. Состав минеральной воды представлен в Таблице 1.

Таблица 1

Состав минеральной воды Bonaqua

Основной химический состав, мг/л:			
Катионы:		Анионы:	
Натрий (Na <sup>+</sup> )	100-200	Гидрокарбонаты (HCO <sub>3</sub> <sup>—</sup> )	250-400
Кальций (Ca <sup>2+</sup> )	25-70	Хлориды (Cl <sup>—</sup> )	150-250
Магний (Mg <sup>2+</sup> )	10-50	Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2—</sup> )	<30
Калий (K <sup>+</sup> )	<5		
Общая минерализация: 500-1000 мг/л			
Общая жесткость 2-6 мг-экв/л			

Помимо минеральной воды средой экстрагирования был выбран 1% раствор ацетона. Выбор данной среды экстрагирования обуславливается попыткой использовать органический растворитель для получения картины токсичности компонентов солнечной панели в условиях их растворения в среде. Более того, согласно утвержденной методике ГОСТ 31674-2012 для комбикормов, использование раствора ацетона в качестве среды экстрагирования допустимо в следствии малого влияния на тест-организмы. Для исключения возможности губительного воздействия минеральной воды на тест-организмы, сначала был проведен ряд опытов, где 1% раствор ацетона рассматривался в качестве анализируемой пробы.

Для случая обоих сред экстрагирования приготавливалась водная вытяжка согласно ПНД Ф Т 16.3.16-10. В качестве прибора-анализатора использовался Биотестер-2М. Для исключения погрешности, достижения достоверности и релевантности результатов эксперимента проводились многократные измерения: все водные вытяжки проверялись на трех кюветах, с каждой из которых прибор снимал 10 значений. расчет индекса токсичности производился по формуле 1. полученные данные усреднялись для каждого опыта. Всего подобных опытов проводилось 6 и 5 для сред экстрагирования минеральной воды и 1% раствора ацетона соответственно.

Для сравнения влияния сред экстрагирования на получаемые индексы токсичности, также производились опыты с использованием дистиллированной воды в качестве экстрагента. Проведение эксперимента и количество опытов проводилось аналогично опытам с минеральной водой и ацетоном.

#### Результаты исследования

В ходе исследования были получены следующие результаты:

1. Определение зависимости индекса токсичности компонентов солнечных панелей EVA и Tedlar® от температуры среды экстрагирования и времени выдержки.

В ходе эксперимента были получены следующие матрицы данных индекса токсичности (таблицы 2-3).

Таблица 2

Данные для двух факторного анализа компонента Eva.

t сут/Т гр.	t=	1	7	21	28	42	56
T=4°C		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
T=35°C		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 3

Данные для двух факторного анализа компонента Tedlar®.							
t сут/Т гр.	t=	1	7	21	28	42	56
T=4°C		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
T=35°C		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

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа с повторениями представлены на рисунках 1-2.

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 двух факторного дисперсионного анализа с повторениями для компонента Eva.

Fig. 1. Results of two factor variance analysis with repetitions for 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 двух факторного дисперсионного анализа с повторениями для компонента Tedlar®.

Fig. 2. Results of two factor variance analysis repeated for Tedlar® component.

В графе SS представлены разбросы, связанные с различием средних значений по столбцам, строкам, взаимодействием и ошибкой эксперимента. Параметр MS отражает оценки соответствующих дисперсий. При выполнении нулевых гипотез, которые предполагают влияние факторов эксперимента на индекс токсичности, эти дисперсии не должны значимо различаться. В последней колонке приведены вероятности того, что при нулевой гипотезе различия между дисперсии могут превышать значения, полученные на представленном экспериментальном материале (уровни значимости, с которыми соответствующие нулевые гипотезы могут быть отвергнуты). Таким образом, показано, что рассмотренные факторы практически достоверно оказывают влияние на индекс токсичности (вероятность ошибки меньше  $1e^{-11}$ ).

2. Определение зависимости индекса токсичности компонентов солнечных панелей EVA и Tedlar® среды экстрагирования.

На первом этапе эксперимента проводились опыты по определению индекса токсичности самих сред экстрагирования. Индекс токсичности минеральной воды составил  $0,07 \pm 0,01$ , что позволяет говорить о безопасности использования минеральной воды в качестве экстрагента. а для случая 1% раствора ацетона все полученные значения находились в диапазоне от 0,01 до 0,07, что свидетельствует об отсутствии подавляющего действия исследуемого экстрагента на тест-организм.

В ходе определения индекса токсичности компонентов солнечных панелей были

получены данные, усредненные для каждого из опытов, представленные на рисунке 3-4.

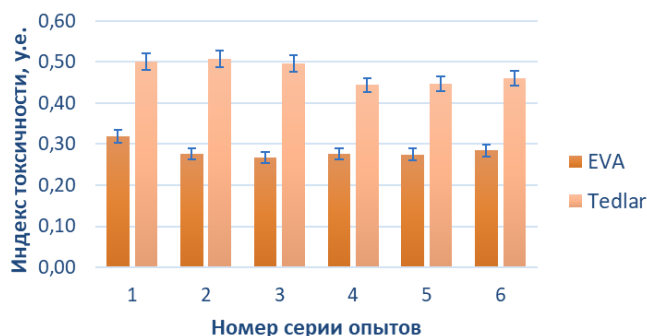


Рис. 3. Результаты определения индексов токсичности для компонентов Eva и Tedlar® при использовании минеральной воды в качестве среды экстрагирования.

Fig. 3. Results of toxicity indices determination for Eva and Tedlar® components when using mineral water as extraction medium.

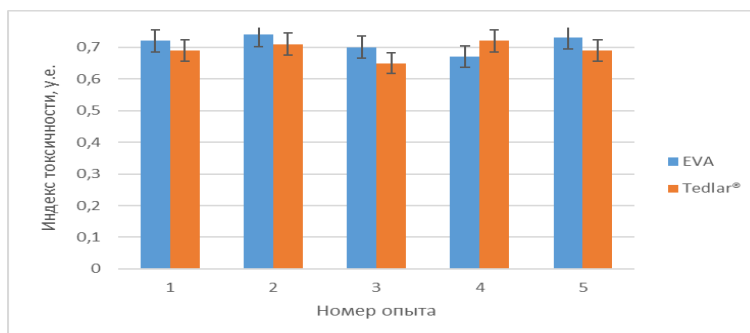


Рис. 4. Результаты определения индексов токсичности для компонентов Eva и Tedlar® при использовании 1% раствора ацетона в качестве среды экстрагирования

Fig. 4. Results of toxicity indices determination for Eva and Tedlar® components using 1% acetone solution as extraction medium

Помимо данных с выбранными средами экстрагирования проводились аналогичные опыты с использованием дистиллированной воды в качестве экстрагента. Данные по всем опытам были усреднены и представлены в таблице 4 с учетом погрешностей.

Таблица 4

Усредненные показатели индекса токсичности компонентов EVA и Tedlar® для случая разных сред экстрагирования

Среда экстрагирования	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

### Обсуждение результатов

1. Определение зависимости индекса токсичности компонентов солнечных панелей EVA и Tedlar® от температуры среды экстрагирования и времени выдержки.

Данные результатов анализа были представлены на рисунках 1-2. Согласно полученным данным было показано, что в проведенных экспериментах наши факторы практически достоверно оказывают влияние на индекс токсичности для компонента Eva (вероятности ошибки меньше  $1e-11$ ).

Таким же образом, и для Tedlar показано, что в проведенных экспериментах наши факторы практически достоверно оказывают влияние на индекс токсичности (вероятности ошибки и меньше  $1e-15$  для факторов).

Таким образом, из полученных данных следует, что с высокой степенью вероятности индексы токсичности компонентов кристаллических солнечных панелей

зависят от температуры среды экстрагирования и времени выдержки экстракта.

2. Определение зависимости индекса токсичности компонентов солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®* среды экстрагирования.

Согласно данным, представленным в таблице 4 и в соответствии с методикой ФР.1.39.2015Л9244, можно сделать вывод о том, что компоненты *EVA* и *Tedlar®* при стандартных методиках пробоподготовки и использовании в качестве среды экстрагирования дистиллированную воду, не превышающую допустимую степень токсичности и могут считаться безопасными для экосистем и здоровья человека.

Однако, при изменении среды экстрагирования замечен рост среднего индекса токсичности данных компонентов.

При использовании минеральной воды марки *Bonaqua* наблюдается допустимая степень токсичности для компонента *Eva* и умеренная степень токсичности для компонента *Tedlar*.

А в случае использования 1% раствора ацетона оба компонента показывают резкий рост индекса токсичности, который, даже при условии небольшой токсичности ацетона, указывает на достаточно высокую степень токсичности компонентов и, соответственно, высокий риск для экосистем и здоровья человека.

### **Заключение**

В ходе работы проводился ряд экспериментов, направленных на изучение влияния факторов внешней среды различной природы в ходе пробоподготовки водных вытяжек для определения индексов токсичности компонентов кристаллических солнечных панелей *EVA* и *Tedlar®* методом биотестирования, с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* в качестве тест-объекта.

Актуальность исследования компонентов солнечных панелей обуславливается ростом их применения и слабой степенью изученности с точки зрения влияния на экосистемы и здоровье человека, что обуславливает необходимость проведения дополнительных экспериментов и проведения математического анализа получаемых данных.

В ходе проведенного исследования было установлено:

1. С высокой степенью вероятности индексы токсичности компонентов кристаллических солнечных панелей зависят от температуры среды экстрагирования и времени выдержки экстракта.

2. Использование в качестве среды экстрагирования минеральной воды марки *Bonaqua* позволяет получить более высокие показатели индекса токсичности по сравнению со стандартными методиками пробоподготовки.

3. Использование в качестве среды экстрагирования 1% раствора ацетона позволяет получить существенно более высокие показатели индекса токсичности по сравнению со стандартными методиками пробоподготовки.

Таким образом можно сделать вывод, что для случая сложных органических соединений, таких как *EVA* (этиленвинилацетат) и *Tedlar®* (поливинилфторид), индексы токсичности будут зависеть от ряда факторов: температуры экстракта, времени выдержки компонентов в экстракте и среды экстрагирования.

### **Литература**

1. Агишев, Р.Р. Возможности экологического мониторинга атмосферного воздуха вокруг предприятий теплоэнергетики методами лазерного зондирования / Р.Р. Агишев, К.Х. Гильфанов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2016. № 3-4. С. 95-96.

2. Дмитриенко, М.А. Снижение антропогенных выбросов при сжигании углей и отходов их переработки в качестве компонентов органоводоугольных суспензий / М.А. Дмитриенко, Г.С. Няшина, Н.Е. Шлегель, С.А. Шевырев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19. № 3-4. С. 42-43.

3. Афанасьева, О.В. Комплексное использование золошлаковых отходов / О.В. Афанасьева, Г.Р. Мингалеева, А.Д. Добронравов, Э.В. Шамсутдинов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 7-8. С. 26

4. Щеткина Т.Н. Использование автоматизированной биотехнической системы и простейших одноклеточных организмов для биотестирования объектов окружающей среды : автореф... дис. кан. био. наук. Калуга.: 207. 27 с.

5. С.М. Chesnokova, N.V. Chugai. Biological methods of estimating quality of environmental objects (Publishing House Vladim. state University, Vladimir, 2008)

6. G.A. Tihanovskay, Y.V. Mashihina, Biological environmental control (VoGU,

Vologda, 2016)

7. Т. Б. Лисицкая. Биотестирование с использованием инфузорий: Автореферат. СПб.: Изд-во СПбГТИ, 2007. 120 с.

8. Завальский Л.Ю. Хемотаксис бактерий // Биология URL: [http://window.edu.ru/resource/604/20604/files/0109\\_023.pdf](http://window.edu.ru/resource/604/20604/files/0109_023.pdf) (дата обращения: 05.06.2022).

9. Yan Xu, Jinhui Li, Quanyin Tan, Anesia Lauren Peters, Congren Yang, Global status of recycling waste solar panels: a review, Waste Management 75, 450–458 (2018)

10. R. Deng, N. L. Chang, Z. Ouyang, C. M. Chong Renewable and Sustainable Energy Reviews, 109, 532-550 (2019)

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

12. Vezhenkova, I., Semenova M., Kovalevskaya, A., Gryaznov A., Rodríguez-Barroso M.R., Jimenez Castañeda R. Chemical composition determination of impurities and effect on the toxicity degree of solar panel components, E3S Web of Conferences, 220, 01057 (2020)

13. Semenova M., Vezhenkova I., Stepanova M., Kustov T. Determination of the degree of toxicity of EVA and Tedlar polymers during the disposal of components of crystalline solar panels, E3S Web of Conferences, 161, 01085 (2020)

14. K.E. Kassatsier., M.S. Stepanova Dispersion and regression analysis (SPb, ETU (LETI)), 2020) - 70 p.

15. N.I. Sidnyaev Experiment planning theory and statistical data analysis (Moscow .: Yurayt, 2020) - 496 p.

#### Авторы публикации

**Семенова Маргарита Игоревна** – аспирант, Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (им. Ульянова-Ленина).

**Смирнов Андрей Владимирович** – аспирант, Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (им. Ульянова-Ленина).

**Веженкова Ирина Владимировна** – канд. биол. наук, доцент кафедры Инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (им. Ульянова-Ленина).

**Кустов Тарас Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры Инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (им. Ульянова-Ленина).

**Ковалевская Алла Станиславовна** – канд. техн. наук, доцент кафедры Инженерной защиты окружающей среды Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (им. Ульянова-Ленина).

#### References

1. Agishev, R.R. Possibilities of environmental monitoring of atmospheric air around thermal power plants using laser sensing methods. *News of higher educational institutions. Energy Problems*. 2016;3-4:95-96.

2. Dmitrienko, M.A. Reduction of anthropogenic emissions during the combustion of coals and wastes of their processing as components of organic-water-coal suspensions / M.A. Dmitrienko, G.S. Nyashina, N.E. Shlegel, S.A. Shevyrev. *News of higher educational institutions. Energy Problems*. 2017;19:3-4:42-43.

3. Afanas'eva O.V. Integrated use of ash and slag waste. *Izvestia of higher educational institutions. Energy Problems*. 2015;7-8:26

4. Shchetkina T.N. *The use of an automated biotechnical system and the simplest unicellular organisms for biotesting of environmental objects: Abstract of the thesis*. can. bio. Sciences. Kaluga.: 207. 27 p.

5. C.M. Chesnokova, N.V. Chugai. Biological methods of estimating quality of environmental objects (Publishing House Vladim. state University, Vladimir, 2008)

6. G.A. Tihanovskay, Y.V. Mashihina, Biological environmental control (VoGU, Vologda, 2016)

7. T. B. Lisitskaya. Biotesting using infusoria: Author's abstract. St. Petersburg: SPbGTI, 2007. 120 p.
8. Zavalsky L.Yu. Chemotaxis of bacteria. *Biology* URL: [http://window.edu.ru/resource/604/20604/files/0109\\_023.pdf](http://window.edu.ru/resource/604/20604/files/0109_023.pdf) (Accessed: 06/05/2022).
9. Yan Xu, Jinhui Li, Quanyin Tan, Anesia Lauren Peters, Congren Yang, Global status of recycling waste solar panels: a review, *Waste Management* 75, 450–458 (2018)
10. R. Deng, N. L. Chang, Z. Ouyang, C. M. *Chong Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 532-550 (2019)
11. Jordan D.C., Kurtz S.R. Photovoltaic Degradation Rates – An Analytical Review. *National Renewable energy Laboratory Journal Article* . June, 2012. №NREL/ JA-5200-51664. - C. 32-41.
12. Vezhenkova, I., Semenova M., Kovalevskaya, A., Gryaznov A., Rodríguez-Barroso M.R., Jimenez Castañeda R. *Chemical composition determination of impurities and effect on the toxicity degree of solar panel components*, E3S Web of Conferences, 220, 01057 (2020)
13. Semenova M., Vezhenkova I., Stepanova M., Kustov T. *Determination of the degree of toxicity of EVA and Tedlar polymers during the disposal of components of crystalline solar panels*. E3S Web of Conferences, 161, 01085 (2020)
14. K.E Kassatsier., M.S. Stepanova Dispersion and regression analysis (SPb, ETU (LETI)), 2020). 70 p.
15. N.I. Sidnyaev Experiment planning theory and statistical data analysis (Moscow : Yurayt, 2020). 496 p.

#### **Authors of the publication**

**Semenova Margarita Igorevna** – Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

**Smirnov Andrey Vladimirovich** – Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

**Vezhenkova Irina Vladimirovna** – Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

**Kustov Taras Vladimirovich** – Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

**Kovalevskaya Alla Stanislavovna** – Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI".

**Получено** 04.06.2022г.

**Отредактировано** 06.06.2022г.

**Принято** 06.06.2022г.