

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВОДЫ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКА ТРАНСГРАНИЧНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ*

*Рассмотрены возможности применения ультрафиолетового облучения в судовых установках обезвреживания балластных вод для снижения риска и интенсивности трансграничного биологического загрязнения морских акваторий. Представлены результаты экспериментальных лабораторных исследований по воздействию различных доз коротковолнового ультрафиолетового излучения на личинок многоклеточных гидробионтов *Dreissena polymorpha* и *Artemia salina*.*

Ключевые слова:

обезвреживание воды трансграничное биологическое загрязнение, ультрафиолетовое излучение.

В настоящее время трансграничное биологическое загрязнение акваторий окраинных и внутренних морей, за счет распространения чужеродных видов организмов вместе с балластными водами судов является одной из важнейших экологических проблем. Вселение чужеродных организмов за последние 50–60 лет существенно повлияло на биологическое разнообразие прибрежных водных биологических сообществ практически по всему миру. Так, в прибрежную зону и эстуарии Атлантического и Тихоокеанского побережья Северной Америки вселилось 298 видов, Средиземное море – 240 видов, прибрежная зона Австралии – 210 видов, Балтийское море – 105 видов, Черное море – 75 видов [1–3; 5; 7; 11; 12; 14]. Оказавшись в новой среде, где нет обычных для них паразитов и хищников, чужеродные виды часто размножаются в огромных количествах. В результате конкуренции или выедания они могут подавлять или полностью вытеснять местные виды, что приводит к упрощению структуры сообщества и снижению его устойчивости к внешним воздействиям. Вселение чужеродных видов может способствовать ухудшению качества воды, распространению паразитов и болезней, в том числе опасных для человека [1; 3; 7; 12; 14]. Возрастающая интенсивность межрегионального переноса чужеродных видов с балластными водами крупнотоннажных судов и существенный экономический ущерб, которые способны

приносить интродуцированные виды в новых для них экосистемах, требует искать эффективные методы решения данной экологической проблемы.

Для устойчивого развития морехозяйственного комплекса России, который в последние годы демонстрирует увеличение своих производственных мощностей, данная проблема является весьма актуальной, в особенности применительно для морей Северо-Западного региона России – Балтийского, Белого и Баренцева, через которые в настоящее время проходят одни из крупнейших в стране транспортных магистралей, обеспечивающих работу нефтегазовой отрасли и экспорт углеводородов.

Дипломатическая конференция, проходившая с 9 по 13 февраля 2004 г., приняла Международную Конвенцию по контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями [5]. Конвенция будет введена в действие через 12 месяцев после подписания ее 30 государствами, которые перевозят 35% мировых торговых грузов морским путем. 28 марта 2012 г. Россия присоединилась к данной конвенции, что предполагает в скором времени обязательное внедрение на суда систем обезвреживания балластных вод.

Целью работы является экспериментальное обоснование возможности применения ультрафиолетового облучения в судовых установках обезвреживания балластных вод для снижения риска и интен-

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ по гранту 14.В37.21.0651 «Разработка методов квотирования биогенных нагрузок и снижения рисков химического и биологического загрязнения трансграничных водных объектов на основе комплексного анализа данных гидрометеорологического мониторинга».

Экологический риск, возникающий при сбросе в море балластных вод, подвергшихся недостаточной очистке от потенциально вредоносных организмов и их личинок, может быть определен исходя из следующего соотношения (1):

$$R = P \times [D \times A], \quad (1)$$

где: R – величина экологического риска (от 0 до 1); P – вероятность сброса с судна в море балластных вод не прошедших эффективное обезвреживание согласно требованиям и нормативам Конвенции (от 0 до 1); D – показатель опасности доминирующих в составе балластной воды чужеродных видов для местной морской экосистемы и человека (от 0 до 1); A – показатель способности доминирующих в составе балластной воды чужеродных видов к акклиматизации и натурализации в местной морской экосистеме, с учетом климатических и океанологических характеристик ее акваторий, а также конкурентоспособности местных видов той же таксономической категории (от 0 до 1).

Высокая степень эффективности обезвреживания балластных вод, в особенности, крупнотоннажного флота, совершающего грузоперевозки в регионе Атлантического океана и Балтийского моря, соответствующая требованиям Международной Конвенции о контроле и управлении судовыми балластными водами и отложениями [7], позволит снизить до минимума экологический риск проникновения и массового распространения в экосистемах Балтики чужеродных вредоносных видов. Применительно к морям Северо-Запада России из списка наиболее нежелательных видов Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными вода и отложениями получили распространение в различной степени следующие виды: хищное планктонное ракообразное *Cercopagis pengoi*, китайский мохнаторукий краб *Eiocheir sinensis*, двустворчатый моллюск *Dreissena Polymorpha*, гребневик *Mnemiopsis Leidy* [1–3; 11; 12; 14].

Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением (УФ), в настоящее время является одной из наиболее распространенных технологий, получивших широкое промышленное внедрение практически во всем Мире. Основным преимуществом ультрафиолетового излучения считается возможность обеспечить необходимый эффект воздействия на нежелательные микроорганизмы при отсутствии образования побочных токсичных веществ, обладающих негативным

воздействием на все живые организмы. Это соответствует высокой экологической толерантности метода, его безопасности для окружающей среды.

Принцип ультрафиолетового обезвреживания заключается в прямом разрушительном воздействии излучения на нуклеиновые кислоты, входящие в состав ДНК и РНК всех живых организмов. Оптимум длин волн УФ-излучения применительно к эффективности обезвреживания бактерий и вирусов, находится в области от 250 до 266 нм [10; 13]. Действие ультрафиолета на разные типы микроорганизмов имеет одинаковую природу. Входящие в состав ДНК пирамидиновые основания – тимин и цитозин, отличающиеся высокой фотохимической активностью в области 250–280 нм, образуют под воздействием облучения сшивки (димеры). Этот фотопродукт обнаружен при использовании коротковолнового УФ-излучения в биологических дозах у самых различных объектов. Многочисленные факты свидетельствуют об определяющей роли димеров в летальном, мутагенном и других эффектах УФ-излучения. Кроме того, действие ультрафиолетового излучения вызывает нарушения в структуре мембран и клеточных стенок микроорганизмов [10]. Все это в конечном итоге приводит к их гибели. При этом внешняя структура микроорганизма оказывает минимальное влияние на эффективность УФ-излучения. Ультрафиолетовое облучение является летальным для большинства микроорганизмов, в том числе для вирусов и цист простейших. Процесс гибели бактерий описывается уравнением (2) [10]:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{E T}{k}\right), \quad (2)$$

где p – число бактерий в единице объема, оставшихся живыми после бактерицидного облучения; p₀ – начальное число бактерий в единице объема; E – интенсивность потока бактерицидных лучей; T – продолжительность облучения; k = 2500 – коэффициент сопротивляемости бактерий.

Эффективность обеззараживания воды (доля погибших под действием УФ облучения микроорганизмов) пропорциональна интенсивности излучения (мВт/см²) и времени его воздействия (с). Произведение этих двух величин называется дозой облучения (мДж/см²) и является мерой бактерицидной энергии, сообщенной микроорганизму. Минимальная доза УФ-облучения, регламентируемая методическими указаниями Минздрава РФ для обеззараживания питьевой воды, составляет 16 мДж/см² [4].

Данное значение дозы излучения обеспечивает снижение содержания патогенных бактерий в воде не менее чем на 5 порядков, а по индикаторным бактериям на 2–6 порядков. Фотохимические процессы практически не зависят от pH и температуры воды, незначительно зависят от ее химического состава. Однако значения мутности воды должны обязательно учитываться при выборе режима работы, поскольку взвешенные вещества экранируют микроорганизмов и поглощают часть УФ-излучения. При определении требуемого количества бактерицидной энергии необходимо учитывать ее поглощение при прохождении потока лучей через слой воды. Интенсивность потока лучистой энергии в толще поглощающего оптически однородного вещества (в мкВт/см²) изменяется по закону Ламберта–Бугера (3) [10]:

$$E = E_0 \exp(-\alpha x), \quad (3)$$

где E_0 – интенсивность потока лучистой энергии, поступающей на поверхность вещества, мкВт/см²; α – коэффициент поглощения см⁻¹; x – толщина слоя поглощающего вещества, см.

Коэффициент поглощения существенно зависит от состава воды и для различных источников водоснабжения меняется в широких пределах. Наибольшее влияние на коэффициент поглощения оказывает цветность воды, ее мутность и содержание железа. Жесткость, хлориды, сульфаты, аммиак, нитриты и нитраты в обычных концентрациях практически не влияют на поглощение бактерицидной радиации.

В табл. 1 и 2 приведены результаты оценки воздействия ультрафиолетового излучения полученные в ходе экспериментальных работ иностранными специалистами [13]. Установлено, что доза УФ-излучения в 20 милливольт/см²/с, приводит к гибели (инактивации) 97,84–99,9% особей болезнетворных микроорганизмов. гидрометеорологическом университете на факультете экологии и физики природной среды на базе «Лаборатории экспериментальной экологии» кафедры экологии в рамках выполнения исследовательских работ в интересах Научно-образовательного центра РГГМУ «Мониторинг и прогнозирование состояния окружающей среды» выполнена экспериментальная работа по изучению влияния ультрафиолетового излучения на некоторые нежелательные виды, способные присутствовать в балластных водах судов, из перечня Международной конвенции по контролю и управлению за корабельными балластными водами и отложениями. Для лабораторных экспери-

Дозы ультрафиолетового излучения необходимые для инактивации 99,9 % особей патогенных микроорганизмов [13]

Вид микроорганизма	Вид вызываемого заболевания	Необходимая энергия ультрафиолета в мДж/см ² для уровня инактивации 99,9%
Бактерии		
Escherichia coli	Острые кишечные заболевания (ОКЗ)	6,0
Proteus vulgaris	ОКЗ	7,8
Salmonella typhosa	Брюшной тиф	7,5
Salmonella enteritidis	Сальмонеллез	7,6
Shigella flexneri	Дизентерия	5,2
Vibrio cholerae	Холера	6,5
Mycobacterium tuberculosis	Туберкулез	10,0
Вирусы		
Bacteriophage (E. coli)	Стафилококк	7,8
Virus poliomyelitis	Полиомелит	6,0
Hepatitis virus	Вирусный гепатит А	11,0

ментальных задач используются промышленные УФ-установки обеззараживания воды (УОВ) относительно малой производительности, но достаточной мощности, производства фирмы «ЭГА-21 век» [6]. Установка УОВ-4 имеет рабочую производительность 4 м³/час. На рис. 1 показана схема данной установки, в табл. 3 приведены ее технические характеристики [6].

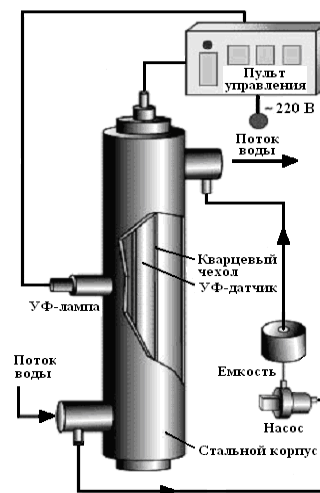


Рис. 1. Принципиальная схема установки УФ-обеззараживания УОВ-4 [6].

Процент сокращения различных бактерий и вирусов при воздействии ультрафиолетового облучения в дозе 20 милливольт/см²/с [13]

Организмы	% инактивации	Организмы	% инактивации
Clostridium tetani	99,9964	Shigella dysenteriae	99,9999
Corynebacterium diphthera	97,8456	Streptococcus faecalis	99,9972
Escherichia coli	99,9999	Vibrio cholera	99,9162
Legionella pneumophila	99,9999	Influenza virus	99,9997
Mycobacterium tuberculosis	99,9999	Poliovirus	99,7846
Pseudomonas aeruginosa	99,9536	Rotovirus	98,3014
Salmonella paratyphi	99,9769	Saccharomyces cerevisiae	99,8179

Таблица 3

**Технические характеристики
УФ-обезвреживания УОВ-4 [6]**

Технические характеристики	Значение
Производительность, м ³ /час, до	4
Давление воды перед установкой, min-max, кгс/см ²	2-10
Тип бактерицидной лампы Philips	TUV
Количество ламп, шт.	1
Ресурс ламп гарантированный фирмой Philips, час	8000
Допускаемый срок службы лампы, час, до	12000
Параметры потребляемой электроэнергии:	220
– напряжение, В	50
– частота, Гц	70
– мощность, Вт, не более	
Диаметр патрубков	2"
Масса, кг	15

Кроме того, для решения экспериментальных задач используются более легкие и портативные УФ-установки УОВ–2 и УОВ–1, имеющие соответственно производительность 2 и 1 м³/час.

Основным объектом лабораторных экспериментальных исследований является моллюск дрейссена полиморфная, и ее планктонные личинки-велигеры, способные легко проникать в балластные воды судов, транспортирующих нефть и газ, и распространиться с ними в самые различные регионы мира, в т.ч. и в моря Северо-Запада РФ. Данные организмы являются не токсичными по отношению к человеку, но способны создавать плотные колонии в системах технического водоснабжения электростанций, включая АЭС. Отбор биологического материала (велигеров), происходил из акваторий Невской губы и Восточной части Финского залива, а также из некоторых внутренних водоемов в июне–июле 2012–2013 гг. при температуре поверхностной воды от 16–25 °С.

Каждая биологическая планктонная проба исследовалась в лаборатории на наличие велигеров дрейссены, и в случае их обнаружения проводился эксперимент по воздействию на них УФ-излучения различной мощности при различных значениях температуры и солености воды. Отбор и гидробиологический анализ проб проводились в соответствии с рекомендациями соответствующих руководств [8; 9].

В результате проводимых опытов выяснилось, что у велигеров дрейссены начинают появляться признаки угнетения жизнедеятельности после обработки ультрафиолетом с дозировками 64 мДж/см² и 96 мДж/см², но при этом они остаются живыми. Возрастание дозы ультрафиолетового воздействия позволило выявить картину динамики смертности среди личинок моллюска-дрейссены, представленной в таблицах 4 и 5. Во всех опытах, начиная с дозы воздействия 96 мДж/см² и выше, наблюдался эффект открывания велигерами створок своих раковин, что может указывать на паралич и начало процесса разрушения мышечных тканей. Значительный процент смертности велигеров дрейссены (более 80%) начинает наблюдаться, начиная со значения дозы ультрафиолетового воздействия в 256 мДж/см². Гарантированное уничтожение велигеров дрейссены до уровня необходимых критических величин 90–99%, становится возможным только при значительно большей дозе воздействия, составляющей не менее 1920 мДж/см². Содержание личинок дрейссены в опытах составляло от 50 до 70 особей на 1 литр.

В опытах при разных температурах (5°C, 10°C, 15°C, 20°C, 25° и 30°C) обнаруживается слабая тенденция к увеличению чувствительности к ультрафиолетовому облучению при росте температуры. Определено также, что процент смертности велигеров дрейссены находится в очень слабой зависимости от солености воды в диапазо-

Процент гибели личинок-велигеров дрейссены полиморфной после облучения ультрафиолетовым излучением различной мощности при различных значениях температуры воды

Доза излучения (мДж/см ²)	% гибели велигеров в повторности опыта при T0 C					
	(5°C)	(10°C)	(15°C)	(200 C)	(250 C)	(300 C)
256	80	85	90	94	94	97
320	80	85	90	94	95	98
640	80	85	91	94	95	98
960	82	86	92	95	95	98
1280	82	86	92	96	96	98
1920	83	87	93	96	96	99

Таблица 5

Процент гибели личинок-велигеров дрейссены полиморфной после облучения ультрафиолетовым излучением различной мощности при различных значениях солености воды

Доза излучения (мДж/см ²)	% гибели велигеров в повторности опыта при S ‰				
	(1 ‰)	(5 ‰)	(15 ‰)	(25 ‰)	(35 ‰)
256	82	86	90	92	94
320	84	90	92	96	95
640	88	90	94	97	96
960	90	92	95	98	97
1280	91	92	97	98	99
1920	92	93	98	98	99

не от 1 до 5‰. В диапазоне значений солености воды от 1 до 35‰ смертность балтийской дрейссены под влияние ультрафиолетового излучения существенно возрастает. Эксперименты проводились при 5-тикратных повторностях, с использованием контрольных гидробоксов, где содержались личинки-велигеры. Дальнейшие эксперименты позволят установить мощность ультрафиолетового излучения, необходимую для гибели 99 % личинок-велигеров дрейссены в условиях низких температур.

На рис. 2 представлена микрофотография молодой особи моллюска *Dreissena polymorpha* размером 3 мм. На рис. 3 показаны микрофотографии личинок-велигеров *Dreissena polymorpha* до облучения ультрафиолетом с дозой излучения 200 мДж/см² (а) и микрофотографии велигеров той же группы после оказанного воздействия (б).

Произведенный микробиологический анализ состояния тканей выявил их разрушение после ультрафиолетовой обработки, начало цитоллиза клеточных стенок и гибель анализируемых особей в количестве 90–95%.



Рис. 2. Микрофотография молодой особи моллюска *Dreissena polymorpha* размером 3 мм.

На рис. 4 представлена взрослая особь низшего ракообразного класса жаброногие – артемии (*Artemia salina*) (а) и биоккультура планктонных личинок-науплий (б), полученная в лаборатории экспери-

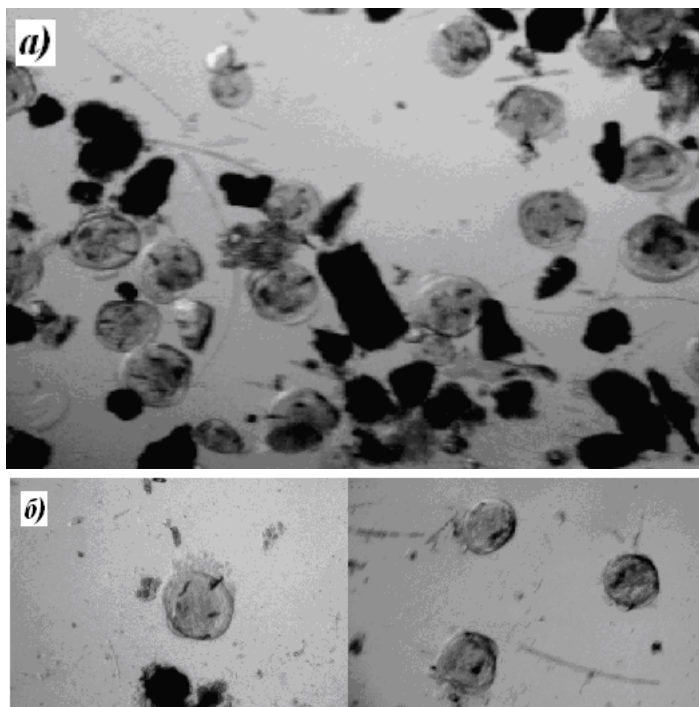


Рис. 3. Личинки велигеры *Dreissena polymorpha* до (а) и после (б) облучения ультрафиолетом с дозой излучения 200 мДж/см² в процессе экспериментальных работ.

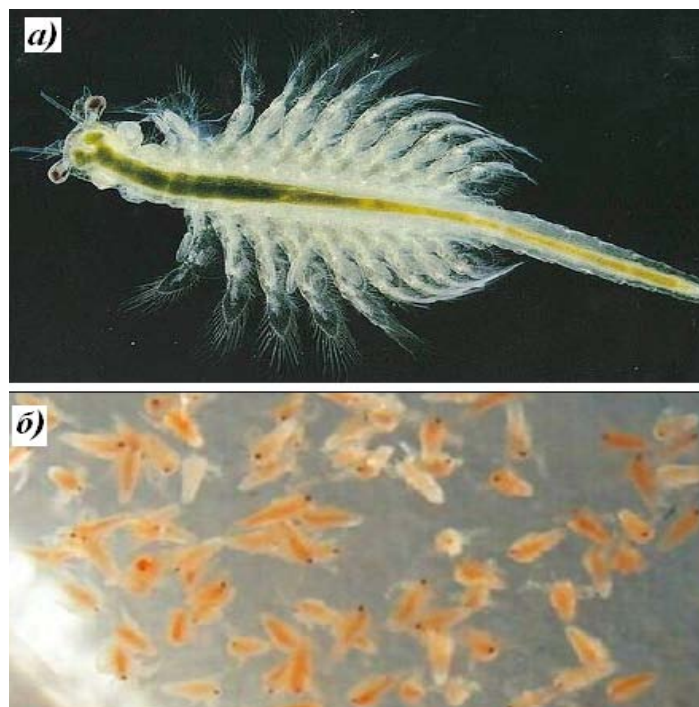


Рис. 4. Микрофотографии взрослой особи низшего ракообразного артемии (*Artemia salina*) (а) и биокультуры планктонных личинок-науплий (б).

ментальной экологии на кафедре экологии РГГМУ.

Использование данного планктонного ракообразного артемии (*Artemia salina*) в процессе проведения опытов по воздействию ультрафиолетового облучения позволяет, учитывая его морфологические и экологические особенности, рассматривать данный вид в качестве вида-аналога *Cercopagis pengoi* из Списка наиболее нежелательных организмов, транспортируемых с балластными водами судов Международной конвенции по Контролю и управлению корабельными балластными водами и отложениями [5].

В табл. 5–7 представлены результаты испытаний воздействия рабочей дозы 256 мДж/см² ультрафиолетового облучения на выживаемость биокультуры многоклеточных планктонных личинок-науплий низшего ракообразного *Artemia salina* в трех циклах испытаний при солёности воды соответственно 32–35, 10 и 1 г/л. Указанная доза воздействия во всех трех циклах испытаний и в каждой из 5 повторностей привела к гибели от 88,5 до 100% особей данных микроорганизмов.

Эксперименты проводились с использованием контрольных гидробоксов, где содержались личинки *Artemia salina*. Таким образом, как и в случае с личинками-велигерами моллюска дрейссены, личинки ракообразного *Artemia salina*, демонстрируют определенную степень выживаемости при ультрафиолетовом излучении с дозой воздействия 200 мДж/см², которая во всех испытаниях соответствует от 1,4 до 11,5%. Поэтому, для гарантированного уничтожения личинок многоклеточных организмов, проникающих в балластные воды судов, необходимо использование метода фильтрации, предполагающего размер пор фильтрующего

**Влияние ультрафиолетового облучения (256 мДж/см²) (УФ)
на выживаемость личинок-науплий низшего ракообразного *Artemia salina*
в первом цикле испытаний при солёности воды 32 – 35 г/л**

Количество (штук) живых организмов в 5 см ³ пробы до облучения УФ в 5-повторностях	Количество особей живых организмов в 5 см ³ пробы после облучения УФ	Выживаемость в %
65	7	10,7
60	7	11,5
70	8	11,5
67	6	9,0
63	7	11,0

**Влияние ультрафиолетового облучения (256 мДж/см²) (УФ)
на выживаемость личинок-науплий низшего ракообразного *Artemia salina*
во втором цикле испытаний при солёности воды 10 г/л**

Количество (штук) живых организмов в 5 см ³ пробы до облучения УФ в 5-повторностях	Количество особей живых организмов в 5 см ³ пробы после облучения УФ	Выживаемость в %
72	4	5,5
74	3	4,0
68	3	4,5
65	4	6,0
60	3	5,0

Таблица 7

**Влияние ультрафиолетового облучения (256 мДж/см²) (УФ)
на выживаемость личинок-науплий низшего ракообразного *Artemia salina*
во втором цикле испытаний при солёности воды 1 г/л**

Количество (штук) живых организмов в 5 см ³ пробы до облучения УФ в 5-повторностях	Количество особей живых организмов в 5 см ³ пробы после облучения УФ	Выживаемость в %
75	2	2,6
71	1	1,4
66	2	3,0
62	1	1,6
68	0	0,0

материала не более 50 мкм. Только в таком случае достигается обезвреживание балластных вод до уровня содержания микроорганизмов в единице объема балластной воды удовлетворяющего требованиям Международной конвенции [5].

Проведенные в РГГМУ экспериментальные лабораторные исследования продемонстрировали, что выживаемость многоклеточных организмов, в частности личинок нежелательных моллюсков или планктонных ракообразных по отношению к воздействию коротковолнового ультрафиолета, весьма значительно превосходит выживаемость бактерий, известную исходя из литературных данных. Если для уничтожения подавляющего большинства ви-

дов патогенных бактерий достаточно дозы УФ-излучения от 8 до 16 мДж/см², то для личинок многоклеточных гидробионтов для достижения 99% гибели необходимо использовать дозы от 256 до 1920 мДж/см², что следует учитывать в отношении энергозатрат при проектировании систем обезвреживания балластных вод крупнотоннажных судов.

Эффективность УФ-обеззараживания воды может быть дополнительно повышена путем сочетания с другими методами обеззараживания и с физическими воздействиями. Одновременная обработка воды кавитацией или ультразвуком и ультрафиолетом, введение малых доз озона после УФ-обработки позволяют сократить необ-

264 ходимую дозу облучения и гарантировать полное обеззараживание воды даже при наличии взвесей. Введение незначительных доз активного хлора обеспечивает пролонгированный эффект последствия, однако соединения хлора способны ускорять коррозионные процессы технологических систем. Кроме того, жесткое УФ-излучение в области 100–200 нм вызывает образование озона из молекул растворенного в воде кислорода и непосредственно воздействует на молекулы органических соединений, приводя к разрушению их структуры.

При ультрафиолетовом обеззараживании неочищенных мутных, цветных вод или вод с повышенным содержанием железа, коэффициент поглощения оказывается настолько большим, что данный метод становится экономически нецелесообразным, а с санитарной точки зрения

ненадежным. Поэтому рекомендуется в гидравлической линии перед УФ-обработкой использовать керамический фильтр с диаметром пор не более 50 мкм, с возможностью очистки фильтра противотоком. Кроме того, наличие фильтрации, позволит не допустить проникновения в балластные воды судов особых многоклеточных потенциально опасных видов гидробионтов и их личинок.

Полученные результаты могут способствовать успешной разработке и производству отечественного высокоэффективного судового оборудования обезвреживания балластных вод, внедрение которого на суда позволит снизить риск трансграничного биологического загрязнения морских акваторий и повысит уровень экологической безопасности при осуществлении морехозяйственной деятельности.

Список литературы:

- [1] Виды-вселенцы в европейских морях России / Отв. ред. Матишов Г.Г. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. – 312 с.
- [2] Дроздов В.В., Смирнов Н.П., Фрумин Г.Т., Косенко А.В. Влияние климатообразующих процессов на океанологический режим Балтийского моря и экологические условия, необходимые для распространения чужеродных видов перемещающихся с балластными водами судов // Общество. Среда. Развитие. СПб. – 2012, № 4. – С. 45–58.
- [3] Дроздов В.В., Фрумин Г.Т., Косенко А.В., Боев А.С. Разработка и анализ показателей трансграничного биологического загрязнения балластными водами судов экосистемы Балтийского моря // Ученые записки РГГМУ – 2012, № 26. – С. 64–77.
- [4] Методические указания МУК 43.2030-05 «Санитарно-вирусологический контроль эффективности обеззараживания питьевых и сточных вод УФ-облучением». – М., 2006.
- [5] Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. – 120 с.
- [6] Научно-производственное предприятие ООО «ЭГА-21 век». – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.ega21.ru>
- [7] Пимошенко А.П., Гурьев В.Г., Ефентьев В.П., Вихров Б.Д. Предотвращение загрязнения окружающей среды с судов. – М.: Мир, 2004. – 318 с.
- [8] Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 239 с.
- [9] Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. Абакумова В.А. – Л.: Гидрометеиздат, 1992. – 318 с.
- [10] Смит К., Хэнеуолт Ф. Молекулярная фотобиология. – М.: Мир, 1972. – 272 с.
- [11] Global Invasive Species Programme (GISP), 1999. Режим доступа: [<http://jasper.stanford.edu/gisp>].
- [12] HELCOM. Baltic Marine Environment Protection Commission – Helsinki Commission. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.helcom.fi>
- [13] Liltved H, Hektoen H, Efraimsson H (1995) Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV irradiation in water of differing salinity. *Aquacultural Engineering* 14: 107-122 doi:10.1016/0144-8609(94)P4430-J.
- [14] Leppakoski E., Gollasch S., Gruszka P. et al. The Baltic – a sea of invaders // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* – 2002, V. 59. – P. 1175–1188.