

УДК 556.53

## ОБЗОР ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ ОРГАНИЗМОВ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ УТВЕРЖДЕНИЯ НОВОГО СТАНДАРТА G8

*Негруца Евгений Александрович*  
*Negrutsa Evgenii*  
*Аспирант*  
*postgraduate student*  
*ГУМРФ им. адм. С.О.Макарова*  
*Makarov state university*  
*Санкт-Петербург, Россия*  
*Saint-Petersburg, Russia*

### A REVIEW ON ORGANISM REGROWTH IN UV-BASED BALLAST WATER TREATMENT SYSTEMS FOR THE APPROVAL OF NEW G8 GUIDELINES

**Аннотация.** В свете срочной необходимости утверждения системы управления балластными водами в соответствии с новым стандартом G8, следует оценить рост микроорганизмов в обработанных балластных водах. Что касается существования ферментов репарации ДНК, системы на основе УФ-излучения имеют риски повторного роста организмов после обработки. До сих пор наблюдалось восстановление ряда водорослей и бактерий после УФ-облучения в искусственной балластной воде или реальной балластной воде в течение от 1 до 9 дней культивирования. В таких экспериментах по восстановлению будут сравниваться целевые организмы, дозы ультрафиолетового излучения, дата восстановления и окружающая среда для повторного роста. Кроме того, в документе будут обсуждаться возможные пути отрастания, с учетом как светлого, так и темного восстановления. На основе обзоров текущих исследований будут изучены доступные методы подавления роста микроорганизмов в системах очистки балластных вод на основе УФ-излучения. Для соответствия новым руководящим принципам G8 системы на основе УФ-излучения должны оцениваться на рост организма, и для утвержденных в настоящее время систем на основе УФ-излучения были предложены методологии модификации, чтобы минимизировать риски повторного роста.

**Abstract.** In light of urgent need of approval of ballast water management system against the new G8 guidelines, organism regrowth within treated ballast water should be assessed. However, it's the first time for mandatory demands on the evaluation of organism regrowth in ballast water. For the existences of DNA repair enzymes, UV-based systems have the risks of organisms regrowth after treatment. So far a range of algae and bacteria have been observed the recovery after UV irradiation in the simulated ballast water or real ballast water during 1-day to 9-day culture. The target organisms, UV doses, recovery date and regrowth environment will be compared in such regrowth experiments. Also, the possible pathways of the regrowth will be discussed in the paper, with the consideration of both light repair and dark repair. Based on the reviews of current researches, the available methods will be explored to inhibit the organism regrowth in the UV-based ballast water treatment systems. For the compliance of the new G8 guidelines, UV-based systems are supposed to be assessed on organism regrowth, and the modification methodologies were suggested for the currently approved UV-based systems to minimize the regrowth risks.

**Ключевые слова:** Управление балластными водами, руководство, Ультрафиолет, восстановление организмов, новый стандарт G8

**Keywords:** Ballast water management, UV-based, organism regrowth, new G8 guidelines

#### Введение

Ежегодно на судах перевозится более 100 миллиардов тонн водяного балласта [1], и каждый день с ними перевозится около 7000 инвазивных видов. Это может привести к вторжению экзотических микроорганизмов, которые были отнесены к одной из четырех основных угроз для мирового океана. Следовательно, морская среда, экосистема порта разгрузки, здоровье человека могут быть затронуты неблагоприятно [1], а экономические потери, вызванные водяным балластом, растут со скоростью около 10 миллиардов долларов в год [2].

Международная морская организация (ИМО) официально приняла Международную конвенцию 2004 года о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими (конвенцию BWM) [3], которая вступила в силу в 2017 году. Между тем, в 2016 году были обновлены Руководящие принципы утверждения систем управления балластными водами (G8) (MEPC.279 (70)). В отличие от старой

версии руководящих принципов G8, в новых спецификациях G8 впервые были выдвинуты обязательные требования по оценке роста организмов в обработанных балластных водах. Это означает, что все утвержденные системы очистки балластных вод соответствуют старому стандарту G8 должны быть повторно утверждены в соответствии с новыми руководящими принципами G8, и должна быть проведена оценка роста организмов.

В настоящее время 65 типов систем одобрены на основе старых руководящих принципов G8 (согласно статистике конференции МЕРС69). В то время как 51% утвержденных систем используют методы, основанные на ультрафиолетовом излучении, 39% из них используют способы, основанные на электролизе, и только 10% систем используют другие технологии, такие как методы озонирования и дезоксигенации. При применении на судне и лабораторных испытаниях систем очистки балластных вод на основе УФ-излучения были обнаружены риски повторного роста организма, в то время как в системах электрохимической, озоновой и дезоксигенирующей обработки не сообщалось о повторном росте, поскольку в таких предполагается, что системные организмы полностью разложились.

В настоящее время системы на основе УФ-излучения обычно сочетают фильтрацию и ультрафиолетовое облучение в системе очистки, такие как Hyde Guardian™ в Соединенных Штатах, GloEn-Patrol™ в Корею, китайский Sea Shield, AHEAD, Cyeco™, BSKY™, Seascape, BALWAT. Кроме того, довольно много УФ-систем используют УФ-фотокаталитический метод, такой как система Sea Doctoral. В этих системах первичная обработка фильтрации может удалить большинство организмов из балластной воды, а УФ-установка в основном работает с микроводорослями размером менее 50 мкм и микроорганизмами [4, 5] в балластной воде.

Для оценки соответствия новым руководящим принципам G8 будут всесторонне рассмотрены риски повторного роста в системах очистки балластных вод на основе ультрафиолетового излучения, и в документе будут обсуждены возможные пути повторного роста и методы подавления повторного роста.

Рост микроорганизмов в системах очистки балластных вод на основе ультрафиолетового излучения. Восстановление организма после ультрафиолетового облучения.

До сих пор было проведено лишь несколько исследований по восстановлению организмов в обработанной балластной воде. В таблице 1 обобщены текущие исследования по восстановлению роста организмов в лабораторной балластной воде или реальной балластной воде. Как показано в таблице 1, почти все собираемые водоросли, бактерии и все организмы, собранные в балластной воде, показали отращивание после обработки ультрафиолетовым излучением. По-видимому, среда роста оказывает незначительное влияние на восстановление организма. Исключения составляют только организмы, находящиеся под пятнадцатидневным наблюдением после обеззараживания с помощью UVC-TiO2 и для *Microcystis aeruginosa* во время 10 дневного наблюдения после облучения 200-350 МДж / см<sup>2</sup> UVC.

Таблица 1

**Рост микроорганизмов в системах очистки балластных вод на основе УФ - излучения**

	Начальная плотность(/mL)	УФ дозы(mJ/cm <sup>2</sup> )	Восстановление	Время восстановления (дни)	Среда	
<i>Chlorella autotrophica</i>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	100-400	ДА	5	15°C, видимый свет силой 70 μEm <sup>-2</sup> S <sup>-1</sup>	
<i>Chaetoceros. calcitrans</i>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	100-400	ДА	9		
<i>Phaeocystis globosa</i>	--	≤730	ДА	6		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	10 <sup>6</sup>	50~100	ДА	3-5	Светлый инкубатор	
		200~350	Нет(10-дневное наблюдение)	--		
<i>Anabaena flosaquae</i>	10 <sup>6</sup>	50~200	ДА	1-3		
<i>Oscillatoria planctonica</i>	10 <sup>6</sup>	200	ДА	2		
<i>Chlorella vulgaris</i>	10 <sup>6</sup>	200	ДА	3		
<i>Scenedesmus obliquus</i>	10 <sup>6</sup>	50-200	ДА	2-7		
<i>Synedra acus</i>	10 <sup>6</sup>	20-200	ДА	2-9		
<b>Organisms ≥50μm</b>	>10 <sup>5</sup>	260	Нет	5		32.5PSU, 23.4°C, PH=8.15, темнота
		260(+TiO2)	ДА	5		

10µm≤ organisms <50µm	>10 <sup>3</sup>	260	ДА	5
		260(+TiO2)	Нет	5
Heterotrophic bacteria	10 <sup>4</sup>	260	ДА	5
		260(+TiO2)	ДА	5
E. coli	10 <sup>4</sup>	260(+TiO2)	ДА	5

*Chlorella autotrophica*, *Chaetoceros calcitrans* и *Phaeocystis globosa* наблюдались для восстановления после УФ облучение в 5-дневный и 9-дневный периоды.

*Chaetoceros calcitrans* могут образовывать цисты (покоящиеся споры) при воздействии более низких доз ультрафиолетового излучения, что может быть связано с физиологическими особенностями видов диатомовых водорослей для создания кремнеземной клеточно-стенки для защиты от агрессивной среды. Однако, когда они подвергались воздействию в более высоких дозах, по-видимому, кисты не образуются, и клетки могут восстановиться на 2-й день после УФ-обработки[6]. Доказано, что *Phaeocystis globosa* очень чувствителен к ультрафиолетовому излучению, которое может потерять фотосинтетическую активность при более высоком ультрафиолетовом облучении[6].

Также, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flosaquae*, *Oscillatoria planctonica*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* восстанавливаются и растут после УФ обработки[7]. В судовых условиях, организмы ≥50 мкм и 10 мкм≤организмы <50 мкм также показывают отрастание после обработки только УФ-излучением во время 5-дневного нахождения в в балластном танке[8]. *Heterotrophic bacteria* и *E. Coli* Восстанавливают свою продуктивность после одной обработки. Однако, если 260 МДж/см<sup>2</sup> УФ облучение объединить с TiO<sub>2</sub> уже меньшее количество организмов останется в балластном танке после 5-дневного наблюдения, и НЕТ очевидно отрастания организмов.

#### Пути восстановления организма.

При ультрафиолетовом облучении поражаются клеточные компоненты организмов, такие как клеточная стенка, белок, хлоропласт, ядро, цепочка ДНК, которые могут быть повреждены в два этапа. На первом этапе клетки организмов могут подвергаться обезвоживанию, теряя внутриклеточную воду, и изменяться в форме и размере. Такие повреждения периферии могут быть не смертельными для организмов, и организмы могут восстанавливаться после повреждений клеточной стенки, белка, хлоропласта. На втором этапе клеточная мембрана, структура и цепочки ДНК могут быть разорваны, а затем образуется димер пиримидина для соединения разорванных цепей ДНК посредством реакции циклоприсоединения. Такие повреждения ДНК возможно, восстанавливается ферментами репарации ДНК, которые существуют в бактериях, цианобактериях, грибах, растениях, позвоночных и даже в микроводорослях антарктического льда[8]. Обычно ферменты могут играть роль восстановления повреждений по двум путям: светлое восстановление и темное восстановление. При восстановлении света, связи между димерами пиримидина разрушаются при воздействии видимого света 400-700 нм. Во время восстановления в темноте удаляются димеры пиримидина или происходит рекомбинация поврежденной ДНК без участия видимого света. После светлого или темного восстановления организмы, вероятно, восстановят нормальную физиологическую функцию.

Предполагается, что при обработке балластной воды ядро и цепочки ДНК повреждаются при высоких дозах ультрафиолетового облучения. До тех пор, пока ядерный ущерб настолько велик, что ферменты репарации ДНК не могут должным образом воздействовать на репарацию, организмы могут погибнуть и не могут восстановиться. Однако, если ущерб от УФ -обработки не такой тяжелый, димеры пиримидина, образующиеся в ДНК, будут разрушены или удалены путем восстановления при свете или в темноте с помощью фермента репарации ДНК.

#### Ингибирование роста организма после ультрафиолетового облучения

Подавление роста микроорганизмов в системах на основе УФ- излучения будет основной задачей для очистки балластных вод. С одной стороны, если интенсивность ультрафиолетового излучения достаточно высока, чтобы полностью разрушить клетки организмов, эффекты восстановления не могут возникнуть. Например, было обнаружено, что ДНК *Tetraselmis sp* разлагается при высокой дозе ультрафиолетового излучения, что может привести к гибели *Tetraselmis sp* [9]. Кроме того, бактерии могут понести необратимый ущерб при воздействии высоких доз ультрафиолетового излучения[10]. С другой стороны, УФ-фотокаталитическая обработка может препятствовать повторному росту организмов. Фотокатализаторы могут производить активные оксиды (такие как ОН, О<sub>2</sub>, ООН) УФ радиация повышает способность к окислению в системе. Активные оксиды могут повредить проницаемость клеточной стенки и клеточной мембраны, а затем повредить метаболизм и ДНК клеток. Тогда ферменты репарации ДНК могут утратить эффект репарации. Поэтому УФ-TiO<sub>2</sub> может стать эффективным способом ограничения

светлой и тёмной репарации после УФ облучения. На самом деле УФ- фотокаталитические методы с нано TiO<sub>2</sub> [11], ZnO [12] или Ag-TiO<sub>2</sub> способны продлить время восстановления или свести к минимуму количество отрастания [13, 14]. УФ-фотокаталитик может быть способен полностью подавить повторный рост бактерий, поскольку размер и структура бактерий сравнительно просты [9,15], однако для водорослей трудно полностью ин активировать рост с помощью фотокатализа. Хотя УФ/TiO<sub>2</sub> работает лучше, чем только Уф излучение при обработке балластной воды, его нельзя широко применять, поскольку на фотокаталитические эффекты может сильно влиять соленость морской воды [16].

#### Выводы

Таким образом, в системах на основе УФ-излучения через 1-9 дней наблюдался рост микроорганизмов в обработанной балластной воде. Системам, основанным на ультрафиолетовом излучении, трудно соответствовать оценке роста, предусмотренной новым стандартом G8. Следовательно, необходимо срочно искать эффективный способ усиления ультрафиолетового облучения для ингибирования роста организмов в системах на основе УФ. Увеличение доз ультрафиолетового излучения или добавление фотокатализаторов могут быть доступными вариантами ингибирования роста. Бактерии могут полностью разлагаться при применении данных способов. Но не все виды водорослей могут быть полностью инактивированы для защиты клеточных стенок или форм кисты. Кроме того, на УФ-фотокаталитический метод может сильно влиять соленость морской воды. Таким образом, предстоит еще долгий путь для изменения методов обработки на основе УФ-излучения для утверждения нового стандарта G8 ; в противном случае установка на борту систем очистки балластных вод может потерять свое значение.

#### Библиографический список

1. N.Nosrati-Ghods, M.Ghadiri, and W.G.Fruh: *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 114(1) (2017), p. 428.
2. M. Gregg, G. Rigby and G.M. Hallegraeff *Aquatic Invasions* Vol. 3(4) (2009), p. 44.
3. M. David and S. Gollasch: *Mar. Pollut. Bull.* Vol. 56(12) (2008), p. 1966.
4. Y. Shi, S. Jing, X.D. Jin, X. Li, L.C. Dai, and S.Y. Gao: *J. INVEST. MED.* Vol. 424(18) (2012),p.27.
5. S. Riley, E. Lemieux, and S. Robbins: *J. APPL. PHYCOL.* (2005), Vol.24, p.751.
6. Z. Lei: Master's Thesis, Hunan University, (2013).
7. Y. Tao, X.Z. Mao, X.H. Zhang, K. Yuan, W.T. Doris: *J Tsinghua Univ(Sci& Tech)* Vol. 50(9)(2010), p 1412.
8. N. Zhang, K. Hu, and B. Shan: *Chem. Eng.J.* Vol. 243 (2014), p. 7.
9. Z. Sun and E.R. Blatchley: *Water Res.* Vol. 121 (2017), p. 311.
10. C. Shang, L.M. Cheung, C.M. Ho, and M. Zeng: *Appl. Catal.* Vol. 89(3-4) (2009), p. 536.
11. D. Wu: Doctoral Thesis, Harbin Institute of Technology, (2011).
12. P. Sathe, M.T.Z. Myint, S. Dobretsov, and J. Dutta: *Sep. Purif. Technol.* Vol. 162 (2016), p. 61.
13. X. Liao: Doctoral Thesis, Huazhong University, (2009).
14. Z.J. Ren, L. Zhang, Y. Shi, J. C. Shao, X. D. Leng, and Y. Zhao: *J. Residuals Sci. Tech.* Vol. 13(1)(2016), p. 31.
15. Y.H. Chen and C. Lin: *Shanghai Environ. Sci.* Vol. 34(5) (2015), p. 5.
16. J. Moreno-Andrés, L. Romero-Martínez, A. Acevedo-Merino and E. Nebot: *Sci. Total. Environ.* Vol. 581–582 (2017), p. 144.