

УДК 656.6

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ БАЛЛАСТНЫХ ВОД**Павлова Светлана Михайловна¹**, старший преподаватель*e-mail:* s.pavlova2774334@gmail.com**Мясникова Ирина Борисовна¹**, доцент, кандидат химических наук*e-mail:* irina120669@yandex.ru**Наумов Виктор Степанович¹**, профессор, доктор технических наук, заведующей кафедрой ООС и ПБ*e-mail:* nauvs@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе проведена систематизация классификации балластных систем и методов обработки балластных вод. Установлена зависимость между автономностью плавания судна и эффективностью применения биологических технологий обеззараживания. Выявлена количественная взаимосвязь между типом судна и продолжительностью балластных операций с учётом интеграции биологических систем. Обоснован перечень типов судов, для которых применение биологического обеззараживания является целесообразным.

Ключевые слова: биологическое загрязнение, балластные системы, эффективные микроорганизмы, ЭМ-препарат, классификация судов, классификация биохимических методов обеззараживания.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING BIOCHEMICAL DISINFECTATION OF BALLAST WATER**Svetlana M. Pavlova¹**, Assistant at the Department of Environmental Protection and Industrial Safety*e-mail:* s.pavlova2774334@gmail.com**Irina B. Myasnikova¹**, Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor at the Department of Environmental Protection and Industrial Safety*e-mail:* irina120669@yandex.ru**Viktor S. Naumov¹**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Environmental Protection and Safety*e-mail:* nauvs@mail.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper systematizes the classification of ballast systems and methods of ballast water treatment. It establishes a relationship between the vessel's autonomy and the effectiveness of biological decontamination technologies. The paper identifies a quantitative relationship between the

vessel type and the duration of ballast operations, taking into account the integration of biological systems. The paper substantiates a list of vessel types for which biological decontamination is appropriate.

Keywords: biological pollution, ballast systems, effective microorganisms, EM preparation, classification of vessels, classification of biochemical methods of disinfection.

Одной из наиболее серьезных антропогенных угроз для морских экосистем, по мнению Международной морской организации (ИМО), является перенос гидробионтов с балластной водой судов. Эта проблема сопоставима по значимости с химическим загрязнением, чрезмерной эксплуатацией морских ресурсов и разрушением мест обитания. Ежегодно суда транспортируют около 10 миллиардов тонн балластной воды, что приводит к трансграничному перемещению тысяч видов микроорганизмов, фито- и зоопланктона, а также личинок донных организмов. Последствия такого переноса могут быть катастрофическими: инвазивные виды, такие как гребневик *Mnemiopsis leidyi* в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах или двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha* в Великих озерах Северной Америки, уже нанесли многомиллиардный экономический ущерб. Для решения этой проблемы была разработана и ратифицирована Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и управлении ими 2004 года (Конвенция BWM 2004), вступившая в силу в 2017 году. Согласно этой конвенции, судовладельцы обязаны обрабатывать балластную воду в соответствии со стандартом D-2 [1]. В то время как коммерческое применение в основном сосредоточено на физических и электрохимических методах, биологические методы обеззараживания привлекают все большее внимание. В настоящее время возрастают перевозки судов различного направления по Северному Морскому Пути (СМП), а это может привести к внесению чужеродных организмов, которые могут изменить экологическое равновесие. В 2023 году грузопоток по СМП достиг рекордного уровня в 36,3 млн. т, превысив объем 2022 года на 2,2 млн. т. (рис. 1).

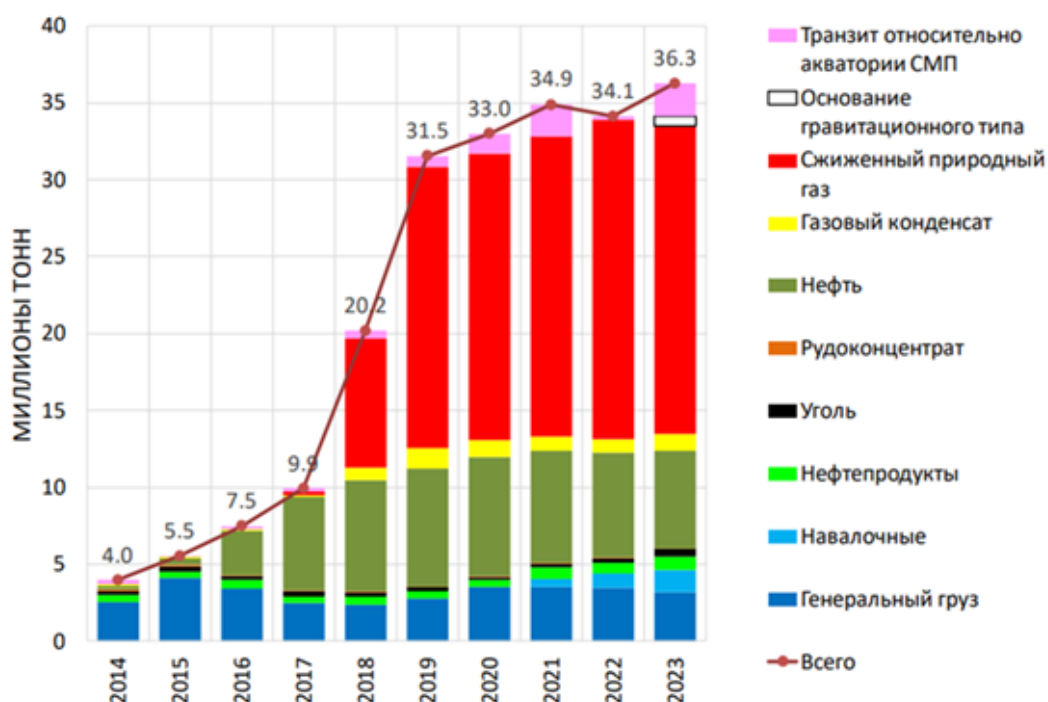


Рисунок 1 – Динамика перевозок по СМП в 2014-2023 годах

Поскольку микроорганизмы, входящие в состав ЭМ-препарата, являются естественными для любой экосистемы, то они не нарушают экологический баланс.

Цели и задачи исследования следующие:

1. Представить классификацию балластных систем по способу перемещения, архитектуре трубопроводов, типу цистерн и степени автоматизации
2. Рассмотреть классификацию методов обеззараживания балластных вод
3. Установить связь между автономностью судна и оптимальным типом биохимического обеззараживания балластных вод.
4. Ознакомиться с классификацией биохимических систем обработки балластных вод и преимуществами микробиологических методов
5. Предложить перечень типов судов, на которых целесообразно применение ЭМ препаратов

Для поддержания заданных мореходных качеств судна – его остойчивости, правильной осадки (дифферента и крена), прочности корпуса и эффективности движителей – используется балластная систем [2]. Она представляет собой набор технических устройств, включающий трубопроводы, арматуру, насосы, цистерны и системы управления, которые обеспечивают приём, перераспределение, хранение и удаление забортной воды.

Классификация балластных систем осуществляется по нескольким признакам:

Способ перемещения балласта: самотёчный (гравитационный), насосный (механический) или комбинированный [3].

Архитектура трубопроводов: кольцевая, магистральная или районированная (секционная).

Расположение и тип балластных цистерн: двойное дно, бортовые (крыльевые), форпик, ахтерпик, глубокие танки.

Целевое назначение: основная система, система для регулирования дифферента, система замещения груза балластом, аварийная (противокреновая).

Степень автоматизации: ручное, дистанционное, автоматизированное (BCS) или интегрированное (IAS) управление.

Кроме того, существуют специализированные балластные системы, на танкерах, системы для судов динамического позиционирования, системы ледоколов с подогревом балласта и системы судов смешанного плавания, отличающиеся ограниченной высотой трубопроводов.

Для предотвращения внесения чужеродных организмов, необходимо проводить обработку балластных вод.

Первый метод – исключение сброса балластной воды вообще. Это самый надежный способ, он применяется в тех случаях, когда сброс балластных вод запрещен полностью [4]. Понятно, что этот способ не очень практичен и в судоходстве зачастую нереален.

Второй метод – береговая обработка, заключающаяся в сдаче балласта на береговые приемные сооружения. Но, далеко не все порты могут предоставить судну соответствующие приемные сооружения.

Третий метод-метод заключается в обработке водяного балласта на борту судна [4-6]. Уже разработаны определенные технологии этого процесса, рекомендуемые Руководством международной морской организации ИМО

Такая обработка может осуществляться физическими, химическими способами [1, 7].

Мы предлагаем использовать для очистки балластных вод еще один способ ЭМ препараты. Это препараты, в состав которых входят эффективные микроорганизмы: молочнокислые бактерии, дрожжи, актиномицеты, ферментирующие грибы (всего существует более 80 штаммов).

Под биологическими методами подразумеваются технологические процессы, основанные на использовании метаболической активности живых организмов (бактерий, микроводорослей) или их сообществ с целью подавления жизнеспособности и устранения инвазивных гидробионтов без применения внешних химических веществ [7, 8].

-Биофильтрация (BioFilter): закрепление штаммов *Bacillus subtilis* и *Pseudomonas putida* на инертной носители с последующим образованием биопленки, в ходе которой происходит адсорбция и ферментативное разрушение вредных элементов.

-Биоаккумуляция (BioAccumulation): активное поглощение и внутриклеточное накопление чужеродных микроорганизмов при помощи специализированных штаммов-биоаккумуляторов.

-Конкурентное исключение (Competitive Exclusion): введение высокой концентрации автохтонных непатогенных микроорганизмов-антагонистов, которые выделяют антимикробные вещества, подавляющие конкурентов.

-Биодеградация (BioDegradation): применение микробных сообществ с активностью лигнолитических и целлюлозолитических ферментов для разложения органических веществ.

Методы с использованием фотосинтезирующих микроводорослей:

-Фитофильтрация (PhytoFilter): выращивание микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda* в освещаемых резервуарах, создавая для них олиготрофные условия.

-Фитоаккумуляция (PhytoAccumulation): накопление загрязняющих веществ в массе водорослей с последующим их осаждением [9]

Мы рассмотрели пять возможных биологических процессов: от биофильтрации до биодеградации. И пришли к выводу, что применение ЭМ препаратов можно отнести к конкурентному исключению.

На рис. 1 представлен один из вариантов эксперимента возможного применения ЭМ-препарата с модельными системами при разных температурах и с разной степенью солености воды. Мы видим, что введение ЭМ-препарата снижает окисляемость в пресной модели при обычной температуре на 1 неделю, а при низкой температуре на второй неделе контактирования.

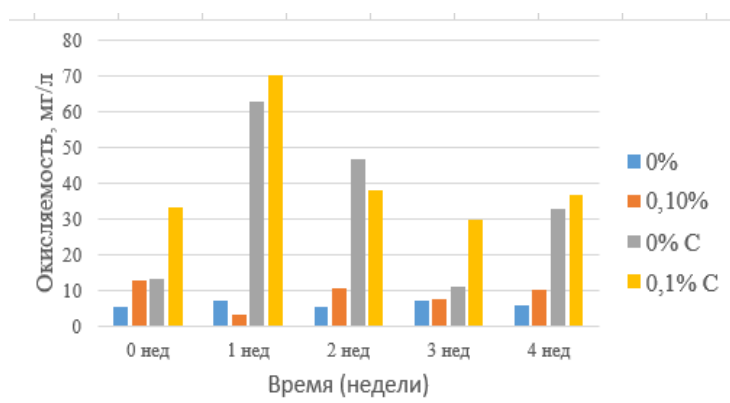


Рисунок 2 – Изменение перманганатной окисляемости модельной системы при $t=25^{\circ}\text{C}$

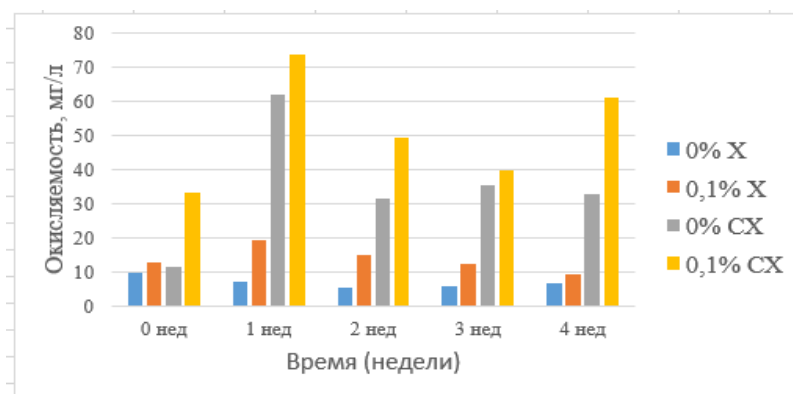


Рисунок 3 – Изменение перманганатной окисляемости модельной системы при $t=3^{\circ}\text{C}$

На модели с морской водой снижение окисляемости наблюдается на второй неделе при обычной температуре и на 2-3 неделе при низкой

В пресной воде при обычной температуре наблюдаем максимум скорости изменения окисляемости при введении препарата на второй неделе. А в остальных случаях подобная картина реализуется к началу третьей неделе. Это объясняется уменьшением количества питательного субстрата для микроорганизмов в соответствующем временном интервале

Ключевым параметром, определяющим возможность применения биологического обеззараживания, является время экспозиции — продолжительность рейса, необходимая для формирования устойчивого микробного консорциума и достижения требуемой степени элиминации целевых организмов.

Анализ кинетических закономерностей показывает:

- при автономности плавания менее 5-7 суток (паромы, фидерные контейнеровозы) применение биологических методов нерационально [10];
- при автономности 7-10 суток возможно применение конкурентного исключения и биофильтрации [11];
- при автономности более 10-14 суток (крупнотоннажные танкеры, балкеры, газовозы) создаются оптимальные условия для биоаккумуляции и конкурентного исключения т.е. для применения ЭМ препаратов.

Таблица 1. Рекомендации по применению биологического обеззараживания для различных типов судов

Тип судна	Рекомендуемый метод	Продолжительность рейса, сут	Обоснование
VLCC / ULCC	Биоаккумуляция + конкурентное исключение	20-40	Максимальная автономность, большие объёмы
Балкер Capesize	Биоаккумуляция	15-30	Длительные балластные переходы
Балкер Panamax	Биофильтрация / биоаккумуляция	10-20	Гибкий выбор в зависимости от маршрута
Контейнеровоз (дальние линии)	Биофильтрация	10-14	Требуется контроль микробной активности
Газовоз LNG (дальний)	Биофильтрация / биоаккумуляция	10-20	Длительные рейсы, умеренные объёмы
Круизное судно (трансатлантика)	Биофильтрация	7-14	Высокие стандарты биобезопасности
Суда смешанного плавания	Биофильтрация (пресноводные штаммы)	3-10	Эффективна при рейсах >7 сут
Паром / фидерный контейнеровоз	Нецелесообразно	1-5	Недостаточное время экспозиции

Заключение

Сопоставление результатов показанных на рис. 2, 3 и в табл. 1 показывает, что: крупнотоннажный транспортный флот (танкеры, балкеры, газовозы) подходит для применения биохимических методов из-за больших объёмов балласта и длительных переходов. А вот паромы и суда смешанного «река-море» плавания, напротив, попадают в зону не желательного применения этих методов из-за короткой автономности и сложностей работы микрофлоры. Кроме того, работа препаратов не ограничивается температурными условиями балластирования, что актуально для СМП. Таким образом, для маршрутов, где длительность перехода составляет более 14 дней, биохимические методы обработки балласта являются допустимой экологической альтернативой.

Список литературы:

1. Решняк В.И., Каляуш А.И., Рочев Д.И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2021. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-ochistki-i-obezzarazhivaniya-ballastnoy-vody> (дата обращения: 22.05.2024);
2. Stehouwer P. P. A comparison of six different ballast water treatment systems based on UV radiation, electrochlorination and biological filtration / P. P. Stehouwer, A. G. J. Buma, L. Peperzak // Journal of Sea Research. — 2019. — Vol. 145. — P. 37-48. — DOI: 10.1016/j.seares.2018.12.005.
3. Лапин В. Г. Экологическая безопасность судов: управление балластными водами / В. Г. Лапин, А. В. Соколов. — М. : Транспорт, 2019. — 288 с. — ISBN 978-5-9039-8765-0.
4. Ясакова О. Н., Зуйков О. Т., Окологдов Ю. Б. Эффективность применения систем обработки балластных вод на судах, заходящих в морской порт Новороссийск, Черное море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 134–154. EDN OERTEN.
5. Шаловенков Н. Н. Тенденции вселения чужеродных видов зообентоса в Черное море // Российский журнал биологических инвазий. - 2020. - Т. 1. - С. 72–80. EDN BPCRNV.
6. Ясакова О. Н. Состояние планктонного альгоценоза северо-восточного шельфа Черного моря в период 2015–2019 гг. // Наука Юга России. - 2020. - Т. 16. - № 4. - С. 39–50. EDN RWJYR. doi:10.7868/S25000640200405
7. Дроздов В.В. Трансграничное загрязнение морских экосистем балластными водами крупнотоннажных судов и технологии его предотвращения//Экология и промышленность России. - 2014. - Т.10. – С.38-43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2014-10-38-43>
8. Шейко А.А., Чихонадских Е.А., Никандров Д.Ю. Системы очистки балластных вод с учетом международных экологических стандартов//Специальная техника и технологии транспорта. - 2025. - № 28. - 137-150.
9. Берёза И.Г., Бондарев К.Г., Волкова Т.А. Разработка технологии очистки судовых балластных вод//Транспортное дело России. – 2026. - № 1. - С. 153-154
10. Михайлова Е.Р., Нефедьева А.Д., Марфуткин Е.А., Скрипов П.О. Анализ технологий очистки балластных вод с целью предотвращения инвазий//В сборнике: Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации. сборник статей XVII Международной научно-практической конференции: в 2 ч. - Пенза, 2021. - С. 18-21.
11. Андрюшечкин Ю. Н., Столповский Д. Ю., Рудых С. В. Анализ технических характеристик при выборе систем обработки балластных вод для судов «река – море» плавания // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1191–1199. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1191-1199.

