

# ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ МИДИЙ В САНИТАРНОЙ АКВАКУЛЬТУРЕ ДЛЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

**Резюме.** Водные организмы, в том числе разные виды мидии, используются для очистки вод в бухтах, где ведется хозяйственная деятельность в области аквакультуры, или в районах со сточными водами биологического происхождения. При этом очищающие гидробионты накапливают некоторые вредные вещества, и для последующего применения в кормопроизводстве требуется их очистка. Для устранения вредного фактора мидий транспортируют в открытое море на несколько суток, там происходит их самоочистка. В настоящей работе приводятся обоснования конструкций по выращиванию гидробионтов и процессов их транспортировки.

**Ключевые слова:** аквакультура, мидия, процессы транспортировки мидии, корма.

## SUBSTANTIATION OF THE TECHNOLOGY OF GROWING MUSSELS IN SANITARY AQUACULTURE FOR THEIR USE IN FEED PRODUCTION

**Abstract.** For the sanitization of water in the basins involved into the aquaculture or sewages containing biological wastes different aquatic species including mussels are used. At the same time, cleaning aquatic organisms accumulate some harmful substances, and for subsequent use in feed production, cleaning from them is required. To eliminate the accumulated pollutants the mussels should be transported to the open sea where their self-cleaning will proceed during several days. In the study presented the constructions for the rearing of mussels and procedures of their transportation are justified.

**Key words:** aquaculture, mussels, procedures of transportation of mussels, feeds.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время объекты аквакультуры используются для очистки вод в бухтах, где ведется хозяйственная деятельность в области аквакультуры, или в районах со сточными водами биологического происхождения, богатыми азотом и фосфором. Очищающие гидробионты поглощают и переваривают развивающиеся здесь микроводоросли со значительным приростом массы, размещение плантаций в таких районах повышает их производительность. Наибольшую эффективность показывают различные виды мидий. Она связана с большими объемами фильтрации воды, с низкой стоимостью выращивания и неприхотливостью. Однако мидии накапливают тяжелые металлы и в последнее время — микропластик.

В многочисленных работах [7–9] отмечается, что в тканях моллюсков аккумулируются катионы четырех тяжелых металлов:  $Cd^{2+}$  (кадмий),  $Pb^{2+}$  (свинец),  $Cu^{2+}$  (медь) и  $Zn^{2+}$  (цинк). Для данных металлов есть предельно допустимые концентрации (ПДК), из расчета на 1 кг сухого веса ткани [7]: кадмий — 2,0 мг, свинец — 10,0 мг, медь — 30,0 мг, цинк — 200,0 мг. Их уровень зависит от районов, закрытости бухт и наличия стоков. Например, мидии Грея из Уссурийского залива накапливали медь в количестве 4,1–6,6 мг/кг, в более закрытом Амурском заливе — 4,8–15,6 мг/кг [2]. Также известно, что аккумуляция меди и цинка моллюсками связано с их повышенной репродуктивностью, которая для мидий составляет несколько миллионов яйцеклеток за один нерестовый

УДК 639.3.06

### Научная статья

DOI 10.25741/2413-287X-2024-04-2-216

**ЕВГЕНИЙ ВАЛЕРИЕВИЧ ОСИПОВ<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук, доцент  
E-mail: oev@mail.ru

**ОЛЕГ АНАТОЛЬЕВИЧ ДАНЧЕНКО<sup>1</sup>**,  
аспирант  
E-mail: staratel\_64@list.ru

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный  
технический рыбохозяйственный университет,  
кафедра «Промышленное рыболовство»  
690087, Приморский край, г. Владивосток,  
ул. Луговая, д. 52 Б

Поступила в редакцию:  
15.03.2024

Одобрена после рецензирования:  
25.03.2024

Принята в публикацию:  
26.03.2024

### Research article

DOI 10.25741/2413-287X-2024-04-2-216

**EVGENY V. OSIPOV<sup>1</sup>**,  
PhD in Technical Sciences  
E-mail: oev@mail.ru

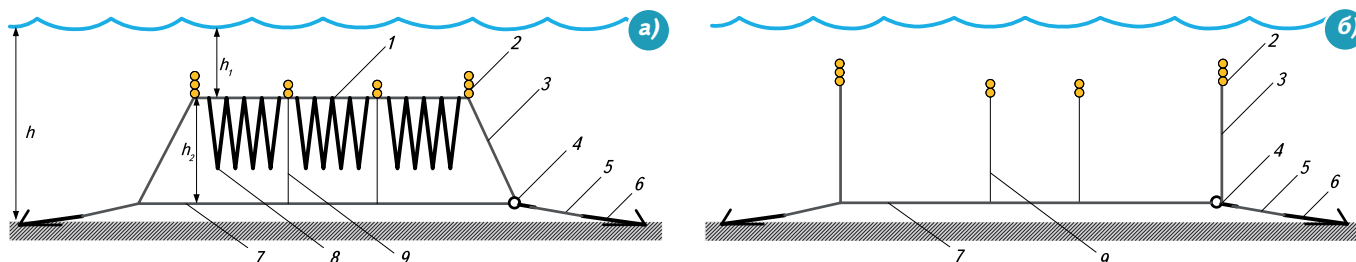
**OLEG A. DANCHENKO<sup>1</sup>**,  
postgraduate  
E-mail: staratel\_64@list.ru

<sup>1</sup> Far Eastern State Technical Fisheries University,  
Department of Industrial Fisheries  
690087, Primorsky Krai, Vladivostok,  
Lugovaya Street, 52B

Received by editorial office:  
03.15.2024

Accepted in revised:  
03.25.2024

Accepted for publication:  
03.26.2024



**Рис. 1. Трапецидальная ярусная конструкция:**

а — в состоянии выращивания мидий; б — в ожидании установки элементов выращивания мидий

1 — основная хребтина; 2 — концевые наплава; 3 — буйреп; 4 — блок; 5 — якорный лить; 6 — якорь; 7 — якорная хребтина; 8 — гирлянда; 9 — вертикальная оттяжка

цикл. Поэтому в Японии выемка объектов аквакультуры (моллюсков) осуществляется через определенное время после нереста, когда резко падает повышенная концентрация металлов, при том что уровень тяжелых металлов у мидий [2, 7] не превышает ПДК.

Попадание в организм моллюсков кадмия, свинца и ртути является в основном пассивным процессом [7]. Интоксикация у них блокируется связыванием ионов металлов со специфическими белками — металлотионеинами [8], которые участвуют в процессах детоксикации и выполняют защитную функцию. Высокие концентрации этих соединений сохраняются в клетках некоторое время и постепенно выводятся [10].

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель работы — обоснование использования технологии выращивания мидий в санитарной аквакультуре и дальнейшем их применении в качестве кормовой продукции. Для этого необходимо выполнить следующее:

- проанализировать результаты исследований по накоплению различных вредных веществ мидиями и способы их очищения;
- обосновать конструкции сооружений для работы в различных бухтах и открытом море;
- обосновать и рассчитать транспортировку мидийных конструкций в открытом море.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований по специальной интоксикации (Ag, Am, Cd, Co, Se, Zn) показали [11], что при перемещении моллюсков в среду с малым количеством металлов детоксикация происходит быстро в первые 24 часа, а затем продолжается в течение следующих 4 суток. Таким образом, сбор мидий необходимо проводить после нереста и буксировать их в открытую часть моря на период до 5 суток. Сроки нереста: у мидии тихоокеанской (*Mytilus trossulus*) — в мае–августе; мидии съедобной (*Mytilus edulis*) — в апреле–июне и октябре–ноябре; мидии Грея (*Crenomytilus grayanus*) — в мае и августе; мидии средиземноморской (*Mytilus galloprovincialis*) — в декабре–январе и мае–июне.

Поглощенные мидиями кусочки пластика размером менее 5 мм (микропластик) выводятся с калом, который аккумулируется на дне и в последующем может быть обработан (аналогично происходит при поглощении угольной пыли). Поэтому во многих регионах предполагается использование мидий в качестве средства очистки вод от микропластика [9, 12]. В работе [13] проведен анализ мидий, продающихся в магазинах в переработанном виде (сразу после вылова) и в живом, который показал, что у живых мидий количество пластика на порядок меньше, чем у переработанных. Все это объясняется выводом пластика мидиями в ходе их транспортировки в магазины, как и в открытую часть моря при буксировке.

В отечественной аквакультуре используются сооружения, предназначенные для работы в закрытых бухтах, где динамические нагрузки на них незначительные, поэтому в таких бухтах выращивают более ценные гидробионты, чем мидии. Соответственно, очистка стоков может находиться в бухтах со сложными условиями работы сооружений, что требует других типов конструкций аквакультуры. На рисунке 1 показана специальная конструкция, обеспечивающая работу в сложных условиях штормовых нагрузок и течений, а также позволяющая быстро отсоединять основную хребтину с гирляндами (рис. 1а, позиция 8; рис. 2) и буксировать их в открытое море для очищения. ⇒

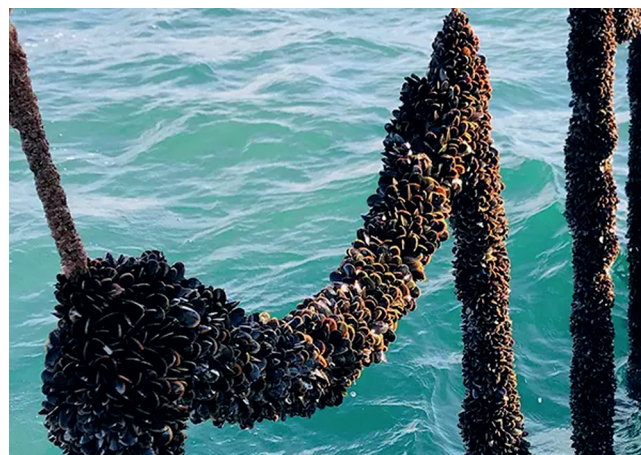
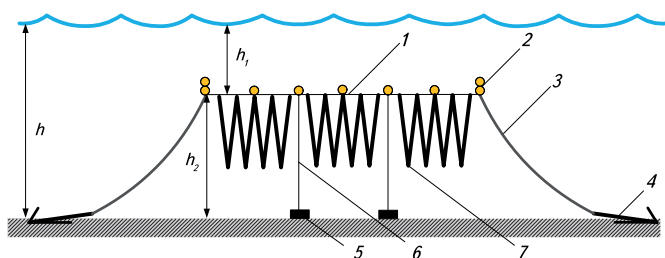


Рис. 2. Гирлянда мидий

При этом конструкция остается на месте (рис. 16), в отличие от обычных П-образных ярусных конструкций (рис. 3), которые в настоящее время применяются во всем мире.



**Рис. 3. Ярусная П-образная конструкция:**

1 — хребтина; 2 — концевые наплава; 3 — якорный линь;  
4 — якорь; 5 — груз; 6 — вертикальная оттяжка; 7 — гирлянда

При использовании трапецеидальной конструкции сокращается длина якорного линя и повышается держащая сила якоря за счет меньшего угла подхода якорного линя к якорю, а вертикальные оттяжки крепятся к якорной хребтине, в отличие от конструкций с якорями. Методика расчета и повышенная штормоустойчивость рассматриваемой конструкции подробно изложены в работах [5, 6]. В открытом море применяется такая же, где высота  $h_2$  фиксируется, а длина якорного линя удлиняется. Данная конструкция может быть установлена на глубине более 200 м, а П-образная — только до 40 м.

Существенным этапом является буксировка гирлянд мидий с хребтиной (рис. 4). Ранее предлагалась схема с применением одного судна с траловыми досками [6], однако моделирование на основе модели [3] показало, что они будут создавать сопротивление до 50% от общего сопротивления всей системы, и это требует особенного маневрирования при выходе из бухт. При этом необходимо судно со значительными энергетическими возможностями, а на аквафермах используются небольшие суда и катера, поэтому была применена близнецовая система с двумя судами (рис. 5). Установки для выращивания могут размещаться в разных частях бухт и к выходу из них хребтины с гирляндами буксируются по схеме, показанной на рисунке 4, где для плавучести к хребтине подсоединяют специальные оттяжки с распределенными по глубине буями. Это позволяет уменьшить динамическую нагрузку на хребтину с гирляндами, что снижает ее прочностные характеристики. Такой подход также важен, поскольку качка отрицательно влияет на состояние гидробионтов [4]: происходит их угнетение, замедляется фильтрация и питание, вследствие чего замедляется и очищение.

Важный показатель при буксировке — ее скорость. По данным [1], при скоростях буксировки до 4 узлов были выявлены снижение стресса, вызванного выводом гидробионтов из мест выращивания, и улучшение их адаптации. Мидии с помощью биссуса крепятся к канату (рис. 2),

#### Литература

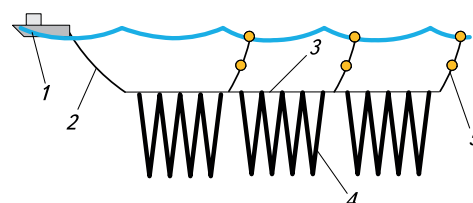
1. Бойцов, А. Н. Совершенствование сетного мешка для буксировки гидробионтов со ставных неводов и аквакультурных ферм / А. Н. Бойцов, Е. В. Осипов, Д. А. Пилипчук // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: материалы VII Нац. науч.-техн. конф. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2024. — С. 14–18.
2. Ковековдова, Л. Т. Тенденции изменения химико-экологической ситуации в прибрежных акваториях Приморья. Токсичные элементы в донных отложениях и гидробионтах / Л. Т. Ковековдова, М. В. Симоконов // Известия ТИНРО, 2004. — Т. 134. — С. 310–320.
3. Осипов, Е. В. Математическая модель противоминного трала / Е. В. Осипов // Материалы XLV Всероссийской межвузовской научно-технической конференции. — ТОВМИ, 2002. — Т. 1. — С. 113–114.
4. Осипов, Е. В. Методика расчета и численная реализация движения волн для задач аквакультуры и прибрежных орудий промышленного рыболовства / Е. В. Осипов // В сборнике: Рациональная эксплуатация водных биологических ресурсов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. — Владивосток, 2023. — С. 79–83.
5. Осипов, Е. В. Постановка задачи расчета ярусных конструкций морской аквакультуры / Е. В. Осипов, О. А. Данченко // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Материалы VI Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 22 декабря 2022 г. — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2023. — С. 82–85.
6. Осипов, Е. В. Технические задачи конструкций морской аквакультуры / Е. В. Осипов, О. А. Данченко // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства: Материалы Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 27–28 октября 2022 г. — Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2022. — С. 152–155.
7. Силкин, Ю. А. Особенности накопления тяжелых металлов в мягких тканях средиземноморской мидии и гигантской устрицы, выращенных в прибрежной зоне юго-восточного Крыма / Ю. А. Силкин, Е. Н. Силкина, М. Ю. Силкин, А. Я. Столбов, А. Ю. Силкина // Водное хозяйство России. — 2017. — № 4. — С. 67–84.
8. Шаплыгина, Ю. Н. Особенности воздействия тяжелых металлов на донные организмы дельты р. Волга / Ю. Н. Шаплыгина, Т. Ф. Курочкина, Б. М. Насибулина // Естественные науки. Проблемы региональной экологии и природопользования. — 2013. — № 3 (44). — С. 51–60.
9. Bringer, A., Thomas, H., Dubillot, E., Le Floch, S., Receveur, J., Cachot, J., Tran, D. Subchronic exposure to high-density polyethylene microplastics alone or in combination with chlortoluron significantly affected valve activity and daily growth of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. — *Aquatic toxicology*, 2021. — 237, 105880.
10. George, S. G. Metallothioneins as indicators of trace metal pollution / S. G. George, P-E Olsson // *Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries* / K. J. M. Kramer (ed.) — CRC Pres, Boca Raton. — 1994. — P. 151–171.
11. Reinfelder, J. R., Wang, W.-X., Luoma, S. N [et al.]. Assimilation efficiencies and turnover rates of trace elements in marine bivalves: a comparison of oysters, clams and mussels. — *Marine Biology*. — 1997. — V. 129. — №3. — P. 443–452.
12. Madelyn N. Woods, Margaret E. Stack, David M. Fields, Susan D. Shaw, Patricia A. Matrai. Microplastic fiber uptake, ingestion, and egestion rates in the blue mussel (*Mytilus edulis*). — *Marine Pollution Bulletin*. — 2018. — V. 137. — P. 638–645.
13. Li, J., Green, C., Reynolds, A., Shi, H., & Rotchell, J.M. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. — *Environmental pollution*. — 2018. — 241, P. 35–44.

## Literature

1. Boytsov, A.N. Improving a net bag for towing hydrobionts from fixed seines and aquaculture farms / A. N. Boytsov, E. V. Osipov, D. A. Pilipchuk // Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation: materials of the VII National. scientific-technical conf. — Vladivostok: Dalrybvtuz, 2024. — P. 14–18.
2. Kovekovdova, L. T. Trends in changes in the chemical-ecological situation in the coastal waters of Primorye. Toxic elements in bottom sediments and hydrobionts / L. T. Kovekovdova, M. V. Simokon // Izvestia TINRO, 2004. — V. 134. — P. 310–320.
3. Osipov, E. V. Mathematical model of a mine trawl / E. V. Osipov // Materials of the XLV All-Russian Interuniversity Scientific and Technical Conference. — TOVMI, 2002. — V1. — P. 113–114.
4. Osipov, E. V. Calculation methods and numerical implementation of wave motion for problems of aquaculture and coastal industrial fishing gear / E. V. Osipov // In the collection: Rational exploitation of aquatic biological resources: materials of the International scientific-technical conf. — Vladivostok, 2023. — P. 79–83.
5. Osipov, E. V. Statement of the problem of calculating longline structures for marine aquaculture / E. V. Osipov, O. A. Danchenko // Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation: Materials of the VI National Scientific and Technical Conference, Vladivostok, December 22, 2022. — Vladivostok: Far Eastern State Technical Fisheries University, 2023. — P. 82–85.
6. Osipov, E. V. Technical challenges of marine aquaculture structures / E. V. Osipov, O. A. Danchenko // Scientific and practical issues of fisheries regulation: Materials of the National Scientific and Technical Conference, Vladivostok, October 27–28, 2022. — Vladivostok: Far Eastern State Technical Fisheries University, 2022. — P. 152–155.
7. Silkin, Yu. A. Features of the accumulation of heavy metals in the soft tissues of Mediterranean mussels and giant oysters grown in the coastal zone of the south-eastern Crimea / Yu. A. Silkin, E. N. Silkina, M. Yu. Silkin, A. Ya. Stolbov, A. Yu. Silkina // Water Resources of Russia. — 2017. — №4. — P. 67–84.
8. Shaplygina, Yu. N. Peculiarities of the impact of heavy metals on benthic organisms of the river delta. Volga / Yu. N. Shaplygina, T. F. Kurochkina, B. M. Nasibulina // Natural Sciences. Problems of regional ecology and environmental management. — 2013. — №. 3 (44). — P. 51–60.
9. Bringer, A., Thomas, H., Dubillot, E., Le Floch, S., Receveur, J., Cachot, J., Tran, D. Subchronic exposure to high-density polyethylene microplastics alone or in combination with chlortoluron significantly affected valve activity and daily growth of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*. — Aquatic toxicology, 2021. — 237, 105880.
10. George, S. G. Metallothioneins as indicators of trace metal pollution / S. G. George, P–E Olsson // Biomonitoring of Coastal Waters and Estuaries / K. J. M. Kramer (ed.) — CRC Pres, Boca Raton. — 1994. — P. 151–171.
11. Reinfelder, J. R., Wang, W.-X., Luoma, S. N [et al.]. Assimilation efficiencies and turnover rates of trace elements in marine bivalves: a comparison of oysters, clams and mussels. — Marine Biology. — 1997. — V. 129. — №3. — P. 443–452.
12. Madelyn N. Woods, Margaret E. Stack, David M. Fields, Susan D. Shaw, Patricia A. Matrai. Microplastic fiber uptake, ingestion, and egestion rates in the blue mussel (*Mytilus edulis*). — Marine Pollution Bulletin. — 2018. — V. 137. — P. 638–645.
13. Li, J., Green, C., Reynolds, A., Shi, H., & Rotchell, J.M. Microplastics in mussels sampled from coastal waters and supermarkets in the United Kingdom. — Environmental pollution. — 2018. — 241, P. 35–44.

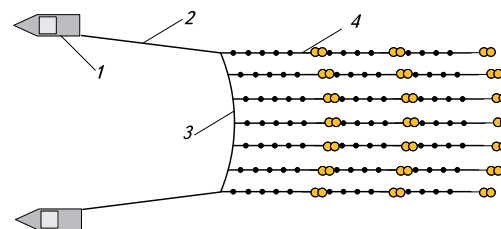
при буксировках при скорости 10 узлов они сохраняются на канате, потеря составляет всего 4%, поэтому при скорости 4 узла потери исключаются. Это показали проведенные исследования. В зависимости от тяговых характеристик судов выбирается количество одновременно буксируемых хребтин с гирляндами.

Суда буксируют хребтины с гирляндами в область устанавки для отстоя, где заранее уже установлены трапециевидные ярусные конструкции, и хребтины встраиваются в конструкцию. После отстоя, длящегося более 5 суток, выборку и обработку гирлянд с мидиями производят по месту, без буксировки в порт.



**Рис. 4. Схема буксировки одной хребтины с гирляндами (вид сбоку):**

1 — судно; 2 — ваер; 3 — хребтина; 4 — гирлянда; 5 — специальная оттяжка с буюми



**Рис. 5. Схема буксировки систем с двумя судами (близнецовая система) хребтин с гирляндами (вид сверху):**

1 — судно; 2 — ваер; 3 — хребтина; 4 — хребтины с гирляндами со специальными оттяжками с буюми

## ВЫВОДЫ

Обоснованная технология выращивания мидий в санитарной аквакультуре в целях дальнейшего их использования в качестве кормовой продукции для сельскохозяйственных животных обеспечивается:

- соблюдением окончания периода нереста для разных видов мидий, связанного с естественным выводом из их организма тяжелых металлов;
- хребтины с гирляндами буксируются в открытое море, где естественный фон тяжелых металлов, микропластика и угольной пыли ниже, чем в прибрежных бухтах, — в таких условиях мидии освобождаются от загрязнений в течение 5 суток;
- для обеспечения выполняемой технологии необходимо использовать специальные сооружения морской аквакультуры (рис. 1) и схемы буксировки (рисунки 4 и 5) со скоростями около 4 узлов. ■