

М. А. ДОЛГОПОЛЬСКАЯ и А. М. АКСЕЛЬБАНД

ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ОРГАНИЗМЫ МОРСКИХ ОБРАСТАНИЙ И ПРОЦЕСС ОБРАСТАНИЯ

Сообщение первое

Современные достижения в области создания быстроходных судов вызывают необходимость еще больше заострить внимание на вопросах, связанных с уменьшением сопротивления движению в результате трения, создаваемого за счет обрастания подводной части корпуса судов морским обрастанием.

Весьма важные задачи в области борьбы с обрастанием возникли при эксплуатации новейших морских гидротехнических сооружений. Борьба с помехами, вызываемыми обрастанием водоводов гидроэлектростанций и промышленных предприятий, использующих для охлаждения морскую, солоноватую или даже пресную воду, представляет собой задачу большой государственной важности.

В состав морских обрастаний входят микроорганизмы, водоросли (диатомовые и макрофиты), протозоа, губки, гидроиды, черви, мшанки, ракообразные, моллюски, туникаты.

У разных видов обрастателей и их личинок различны характер реакции и чувствительность к тем или иным химическим и физическим воздействиям. Этим в значительной степени усложняется разработка «универсальных» средств, в одинаковой мере эффективных для защиты от всех видов организмов, участвующих в создании ценоза обрастания (Долгопольская, 1959; Долгопольская и Гуревич 1960).

За последние годы достигнуты известные успехи в разработке эффективных необрастающих красок, однако проблема защиты от обрастания, как в море, так и в солоноватых и пресных водах, еще очень далека от разрешения и требует углубленной работы над усовершенствованием химических средств и по разработке новых — физических способов предотвращения обрастания.

Среди физических методов, нашедших разнообразное и широкое применение во многих отраслях техники, в химии, биологии и медицине, одно из первых мест занимает воздействие ультразвуковых колебаний (Бергман, 1957).

В настоящее время имеются многочисленные исследования биологического действия ультразвука, начиная от полезных для организмов «терапевтических» доз и кончая летальными интенсивностями, служащими для целей стерилизации. Исследование воздействия ультразвука на организмы обрастания и на развитие ценоза обрастания, насколько нам известно по литературным данным, до сих пор не проводилось.

хотя в последние годы уже делались попытки использовать как средство защиты от обрастания ультразвуковые колебания, сообщаемые подводной части корпуса судна (Петраки, 1957, 1960; Матов и Сушков, 1959; Аксельбанд, 1962).

В настоящей работе приводятся предварительные данные о лабораторных и стендовых исследованиях воздействия ультразвуковых колебаний на жизнедеятельность личинок морских обрастателей и их способность к оседанию и последующему росту.

АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Вся аппаратура для проведения опытов была изготовлена лабораторией ультразвука Одесского института инженеров морского флота.

Магнитострикционный излучатель ЛЖ-3 с излучающей поверхностью размером 80×80 мм и резонансной частотой 23,8 кГц, питающийся от ультразвукового генератора УЗГ-400 мощностью 400 в, устанавливался в стеклянный аквариум ($200 \times 200 \times 300$ мм) с водой для охлаждения. Вода покрывала вибратор слоем 3—4 мм. Исследуемые организмы помещались в стеклянные плоскодонные чашечки (чашки Коха диаметром 22 мм), которые устанавливались непосредственно на торец излучателя. Передача колебаний происходила через слой воды (рис. 1). После соответствующей экспозиции чашечки переносились на столик бинокулярного микроскопа, где проверялось состояние озвученных организмов. В отдельных случаях бинокляр на длинном подвижном стержне закреплялся над вибратором и наблюдения велись

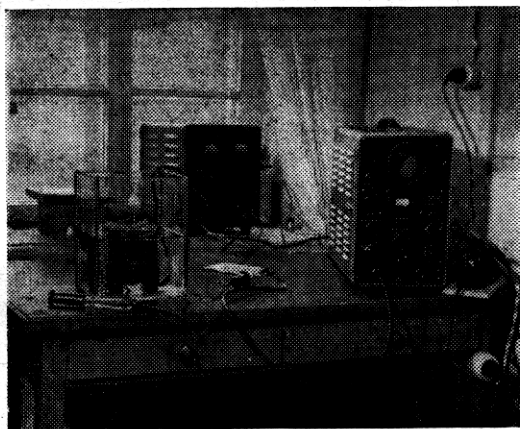


Рис. 1. Лабораторная установка магнитострикционного излучателя ЛЖ-3.

непосредственно в момент озвучивания. В тех случаях, когда организмы сохраняли внешнюю целостность, но теряли подвижность, наблюдения за ними продолжались для установления степени повреждения.

Так как длительное или многократное озвучивание вызывает некоторое повышение температуры воды в аквариуме, что в свою очередь могло оказать влияние на поведение личинок в опыте, дальнейшие работы проводились с вибратором ПМ-1,5, представляющим собой вибратор ЛЖ-3, к которому припаяна согласующая пластина с

бортиками по краям высотой около 20 мм. Передача колебаний от пластины к чашкам также проходила через слой воды, налитой на пластину. Снизу к пластине крепится кожух, по которому к вибратору и пластине подается проточная вода для охлаждения (рис. 2).

Четыре пронумерованные стеклянные чашечки с подопытными организмами устанавливались всегда на определенном месте в централь-

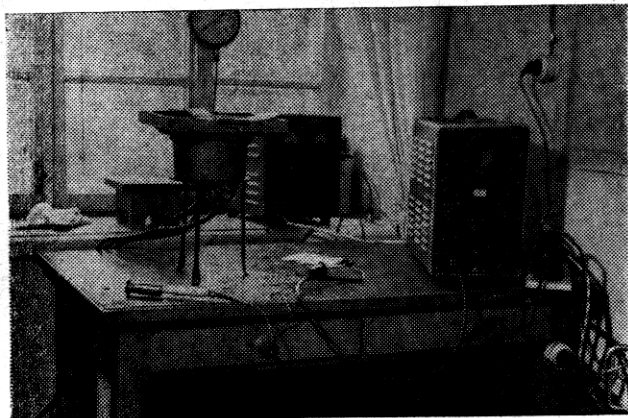


Рис. 2. Лабораторная установка вибратора ПМ-1,5.

ном квадрате пластины так, чтобы они находились непосредственно над рабочей частью вибратора, где звуковые колебания интенсивнее и равномернее. Во все чашечки наливалось одинаковое количество морской воды, в которую помещалось 5 или 10 личинок.

При изучении биологического действия ультразвука очень важным вопросом является правильное определение интенсивности колебаний и особенно воспроизводимость условий облучения.

Измерения звуковых давлений, произведенные волноводным приемником с цилиндрическим пьезоэлементом, показали, что передача колебаний неравномерна в разных участках рабочей поверхности вибратора.

Даже при точном расчете величины звуковой энергии, проникающей в сосуд, интенсивность звука, непосредственно воздействующего на объект исследования, может зависеть еще и от интенсивности волн, отраженных от поверхности жидкости и стенок сосуда, также воздействующих на этот объект. В связи с этим особое внимание было уделено измерениям звуковых давлений в каждом опыте.

В каждой чашке, в центре и в четырех точках по периферии, шариковым или волноводным щупом определялись звуковые давления. Так как показания щупа в разных точках отличались между собой и акустический эффект проявлялся на подопытных личинках неодинаково, была сделана попытка измерить интенсивность звуковой волны в месте разрыва организма путем одновременного наблюдения через два бинокля, из которых один давал возможность, глядя сверху, определить положение личинки на площади чашки, а другой — при боковом просматривании определял ее положение в толще воды. В окуляры обоих биноклей вставлялись специальные сетки; место нахождения личинки устанавливалось по линиям пересечения (рис. 3).

Оказалось, что при принятой в наших опытах длине волны (60 мм) в чашке создается очень сложное звуковое поле, и личинки с такой скоростью переносятся из области, где фактически имел место их разрыв, в область другой интенсивности, что проследить за нею крайне сложно. Кроме того, затруднения создавались тем, что размеры имевшегося в нашем распоряжении шарикового щупа несоизмеримы с размерами микроскопической личинки и поэтому щуп дает показания

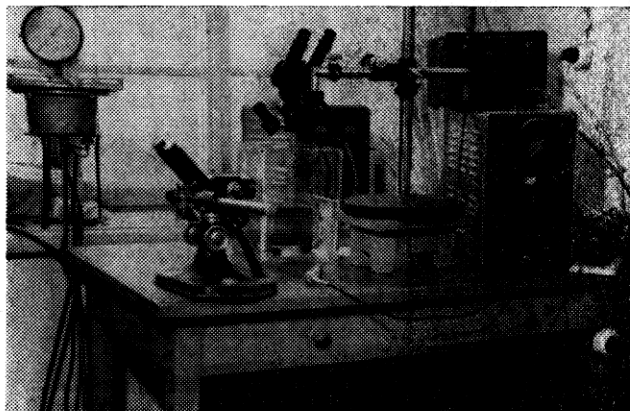


Рис. 3. Приспособление для определения места разрыва личинки в толще воды в период озвучивания.

звукового давления на значительно большем пространстве, чем область разрыва личинки.

В дальнейшем во всех последующих опытах по выяснению воздействия ультразвуковых колебаний на личинок обростателей интенсивность ультразвуковых колебаний определялась в чашках с помощью цилиндрического приемника с плоской диафрагмой и расположенным внутри пьезоэлементом. Диаметр приемника почти равнялся диаметру чашки, и приемник давал показания среднего ультразвукового давления.

Так как вследствие колебания напряжения в сети и по другим, трудно учитываемым причинам иногда наблюдались некоторые отклонения в следующих друг за другом измерениях, замеры звуковых давлений производились в каждой чашке перед каждым отдельным опытом.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачей лабораторных исследований было: а) установление сравнительной резистентности к ультразвуковому воздействию личинок разных видов обростателей на разных стадиях развития и особенно на стадиях, осуществляющих процесс оседания; б) определение минимальных предлетальных и летальных доз как по интенсивности ультразвука, так и по длительности воздействия; в) наблюдения за последующим поведением и выживанием облученных организмов; г) определение зависимости ультразвукового эффекта от толщины слоя (от 1 до 10 см) озвучиваемой жидкости — морской воды, в которую были помещены личинки; д) использование ультразвуковых колебаний для

очистки свежесевших и прикрепившихся обростателей, особенно баянусов; е) исследование влияния ультразвуковых волн на различные виды микрофитов обростания (диатомовые водоросли, участвующие в создании первичной пленки обростания) путем последующей проверки их жизнеспособности по росту и темпу деления в культурах; ж) определение повреждающего действия ультразвуковых колебаний на макрофитов обростания (зеленые, бурые и красные водоросли). Работа по двум последним разделам еще только начинается.

В качестве объектов исследования служили свободноживущие личиночные стадии основных организмов обростания, отбираемые из общего улова планктона Севастопольской бухты, а также личинки, полученные в лаборатории путем искусственного оплодотворения выметанных яиц и последующего воспитания личинок (мидий).

Первые лабораторные опыты носили характер поисковых исследований с целью разработки методики дальнейших работ и проводились в диапазоне звуковых давлений от 150 000 до 700 000 бар. В дальнейшем используемые интенсивности были значительно снижены. Результаты лабораторных исследований приведены в табл. 1*. Данные таблицы показывают, какое влияние оказывают интенсивность ультразвуковых колебаний и время озвучивания на жизнеспособность личинок обростания.

В процессе работы выяснилось, что в тех случаях, когда исследуемые организмы (циприсы баянусов) попадали в поверхностную пленку на границе раздела жидкость — воздух, действие ультразвуковых колебаний даже больших интенсивностей (325 000 бар) на них не сказывалось. Это явление имело место как в опытах в чашках с 5—7 см³ воды, так и в выпуклых объемах жидкости, наносимых непосредственно на торец вибратора. Поверхностная пленка, по-видимому, служила защитным барьером — организм попадал в слой, где отсутствует градиент давления. Для проверки защитного действия поверхностной пленки были поставлены опыты, исключающие возможность попадания циприсов в пленку. Для этой цели в чашку для опытов на 5—6 мм ниже уровня воды погружалась шелковая сетка, вырезанная по диаметру чашки. В этих случаях при тех же режимах действие ультразвуковых колебаний на организмы, находящиеся под сеткой, было явно выражено: почти во всех опытах с сеткой наблюдалась 100%-ная гибель личинок при облучении в течение 3—5 секунд (16 опытов). В опытах без сетки процент гибели не превышал 40 при озвучивании в течение 15 секунд.

Проведен также ряд опытов (около 50) для выяснения влияния толщины слоя озвучиваемой воды на эффективность действия ультразвуковых волн. Результаты показали, что в интервале 5—50 мм толщина слоя озвучиваемой воды существенно не сказывается. При высоте столба воды 50—80 мм ультразвуковой эффект в сосуде ощущается несколько слабее. Следует отметить, что даже в условиях предкавитационного режима личинки мидий, помещенные в каплю воды на дне чашки, сохраняли жизнеспособность и подвижность после озвучивания в течение 1 секунды. Если же в чашку доливали воду до обычного уровня — 12 мм, то такое же облучение в течение 1 секунды вызывало гибель личинок и разрыв раковины у 60% экземпляров.

* В лабораторных опытах и в стендовых испытаниях большое участие принимала Г. А. Добротина.

При исследовании воздействия ультразвуковых колебаний на молодых баянусов, осевших на стекла обрастания (предметные стекла), последние размещались по всей поверхности согласующей пластины в слое морской воды. Звуковые давления определялись волноводным щупом в трех точках на каждом стекле: в центре и на равном расстоянии между центром и обоими концами стекла. Интенсивностью озвучивания каждой пластинки принималось среднее от трех измерений.

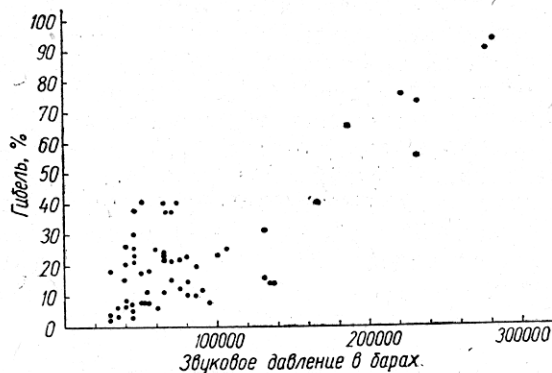


Рис. 4. Зависимость процента гибели баянусов на стеклах обрастания от звукового давления (3-часовая экспозиция).

Количество баянусов на стеклах подсчитывалось под биноклем до озвучивания и после заданной экспозиции. Отдельно отмечалось число пустых домиков баянусов. В последующих опытах пустые домики или просто мертвые баянусы предварительно удалялись со стекла, чтобы обеспечить правильный подсчет погибших и оставшихся живыми. Результаты опытов представлены в виде графика (рис. 4).

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Стендовые испытания предусматривают: а) изучение влияния ультразвуковых колебаний на оседание и рост обрастателей на погруженные в море, непрерывно озвучиваемые поверхности; б) определение характера и интенсивности обрастания озвучиваемых пластин в зависимости от параметров звукового поля; в) наблюдения за оседанием и ростом обрастателей на таких же пластинах, погруженных в море на тот же срок, в том же районе и в таких же условиях — вне зоны действия ультразвука (контроль); г) установление эффекта ультразвукового воздействия в зависимости от сезонной смены видового состава обрастания; д) исследование формирования обрастания на озвучиваемых и контрольных пластинах в условиях потока морской воды. Стендовые опыты проводились при содействии Севастопольской ГРЭС-1 в Северной бухте, где Севастопольская биологическая станция ведет стационарные круглогодичные наблюдения за режимом обрастания.

В отличие от лабораторных опытов, где исследовались результаты воздействия ультразвуковых колебаний различных интенсивностей на свободноплавающих личинок, стендовые испытания имели целью

определить влияние ультразвука на способность оседания личинок и развитие ценоза обрастания на поверхности, находящейся в море. Для этой цели в море одновременно вывешивались три стальные пластины с магнитострикционными излучателями и одна контрольная пластина без ультразвукового датчика, помещенная вне зоны действия ультразвуковых волн. Передача колебаний пластине осуществлялась следующим образом: в центре пластины электросваркой приваривался (по периметру) стержень размером $40 \times 40 \times 50$ мм. К стержню припаивался магнитострикционный излучатель размером $40 \times 40 \times 79$ мм. Излучатели трех пластин включались последовательно и питались от генератора УЗМ-1,5.

Система вибратор — стержень — пластина рассчитывалась на частоту 17,2 кГц. В пластине, колеблющейся с одной из ее резонансных частот, образуются узлы и пучности колебаний. Расположение узловых линий на поверхности пластины, образующих так называемые фигуры Хладни, можно визуально наблюдать, если на поверхность пластины насыпать мелкий песок или другой сыпучий материал.

Если ультразвуковые колебания влияют на процесс оседания и прикрепления личинок к поверхности, то следует полагать, что приближающиеся личинки преимущественно будут оседать и прикрепляться в точках, расположенных на узловых линиях. Следовательно, расположение оседающих личинок должно повторить картину фигур Хладни, полученных ранее на пластине с помощью песка. Это обусловило целесообразность проведения стендовых испытаний с пластинами ограниченных размеров, хотя они не позволяют моделировать условия распространения упругих колебаний в корпусе судна (пластина большой протяженности).

В связи с тем, что акустические характеристики пластин отличались между собой, в пластинах создавались звуковые поля, различные по форме и интенсивности. Продолжительность экспозиции образцов в каждом отдельном случае диктовалась условиями опыта и в основном зависела от интенсивности и характера обрастания в море. Время наблюдений охватывает период начала оседания обрастателей, его расцвет и осенний спад. Всего было поставлено 8 опытов разной длительности. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Стендовые испытания непрерывно озвучиваемых пластин, погруженных в море, показали довольно яркое совпадение рисунка оседания обрастателей с распределением акустических полей на озвучиваемой пластине и прямую зависимость прикрепления обрастателей от параметров звукового поля (рис. 5). Обрастание на пластинах, озвучиваемых при определенных режимах, в десятки раз меньше обрастания контрольных. Иногда появляющаяся на отдельных участках озвучиваемых пластин осыпь циприсов и мелких баянусов через 3—5 дней полностью исчезает.

Чувствительность разных видов обрастателей к ультразвуковому воздействию различна. Не исключено, что в зависимости от сезона и связанного с ним разнообразия видового состава организмов обрастания режим звукового воздействия иногда рационально перестраивать. При изменении частоты колебаний меняется распределение обрастаний. Замеры интенсивности колебаний на участках, свободных от обрастаний, помогут найти параметры, необходимые для выбора режима и настройки озвучиваемых поверхностей.

Таблица 1

Стендовые испытания действия ультразвуковых колебаний на процесс обрастания в море
(количество обрастателей указано на площади 25 см²)

№ опыта и дата	Частота колеба- ний	Звуковое давление (в барах)*	Результаты биологического анализа обрастаний на пластинах					
			Пластина I (круглая, Ø 50 см)	Звуковое давление (в барах)*	Пластина II (квадратная, 2500 см²)	Звуковое давление (в барах)*	Пластина III (квадратная, 2500 см²)	Пластина-контроль (квадратная, 2500 см²)
1 С 19 по 24.VI 1962 г.	16,9 кГц	6000/20	Единичные циприсы и балабусы — 8—18 шт., изредка до 100 шт.	5000/20	Единичные циприсы и балабусы до 0,4—0,5 мм	10000/20	Обрастаний меньше, чем на пластине I. Размер балабусов 0,4—0,5 мм	Почти равномерная (не- большое сгущение у верхнего края) осыпь балабусов, от 0,5 до 0,82 мм. Размер балабу- сов свидетельствует о более раннем их оседа- нии, чем на озвученных пластинах, или о более благоприятных условиях для роста
2 С 25.VI по 5.VII 1962 г.	16,9 кГц	6000/20	Центральная часть поч- ти свободна от обраста- ний (9 циприсов). Об- растания в основном на скошенных краях: бала- бусов — 260, циприсов — 95, трубчатых червей — 88. Размер балабусов 0,5—0,7 мм (свежеосев- шие).	5000/20	Неравномерная осыпь балабусов, более густая по краям. В централь- ной части до 240 экз.; по краям — 280—590. Размер 0,5—0,7 мм. На- мечается тенденция рас- пределения осевших обрастателей в соответ- ствии с звуковыми поля- ми пластины	10000/20	В центральной части об- растаний почти нет, мес- тами 130 балабусов, иногда до 315 экз., еди- ничные трубчатые чер- ви. Распределение об- растаний соответствует звуковым полям плас- тины	Равномерное густое по- селение балабусов, цип- рисов, трубчатых чер- вей, мшанок, батриллю- сов. Количество в 170 раз больше, чем на пла- стине I
3 С 5 по 19.VII 1962 г.			Обрастания распределе- ны правильными кон- центрическими кругами (7 кругов), сгущение обрастаний на краях и		Обрастания ~ равно- мерно по всей поверх- ности, есть отдельные чистые участки. Размер балабусов — от свеже-		Обрастания распределе- ны неравномерно, име- ются места слабо (70— 120 экз.) или почти сов- сем не обросшие. На	Равномерная осыпь ба- лабусов по всей поверх- ности, 1243—1657 экз. Размеры до 1,2 и 1,3 мм

	16,9 кгц	750/10	в виде двух треугольников, обращенных вершинами к центру. Круги обрастаний составляют баянусы до 1,5 мм, между кругами осыпь мелких	1300/10	осевших до 1,2 мм	1000/10	участках с обрастанием 1070—1715 экз. баянусов	
4 С 19 по 31.VII 1962 г.	16,9 кгц	1700/10	Обрастания распределяются концентрическими кругами, но менее резко выраженными ввиду кратковременности опыта (7 дней)	900/10	Распределение обрастаний совпадает с рисунком звуковых полей. В центре обрастания почти нет, на остальной части — в виде горизонтальных полос (ширина 2 см, на них 771 — 928 экз.); в просветах — ширина 3 см, мелкие баянусы и циприсы до 414 экз.	2000/10	Обрастание неравномерное; вверх и вниз от центра участки почти пустые	Баянусы по всей поверхности, особенно крупные по краям. На затененной стороне до 2200 экз. На освещенной стороне сплошное поселение ботриллусов
5 С 1 по 10.VIII 1962 г.	16,9 кгц	1700/10	25% свободно от обрастаний; на 40% — легкая осыпь, на остальной части — свежесевшие баянусы и до 3,5 мм. Обрастание концентрическими кругами с двумя более густо заселенными треугольниками с вершинами в центре. Между кругами участки чистые от обрастаний	900/10	Центральная часть свободна от обрастаний. На остальной части обрастания горизонтальными полосами, более или менее густо заселенными крупными баянусами, трубчатыми червями — мерсиерелля и полидора, часто пятнами ботриллусы	2000/10	Вверх и вниз от центра два чистых поля. На остальной поверхности чистые от обрастаний участки окружены плотным многослойным поселением. Местами легкий пушок зеленых водорослей	Вся поверхность равномерно покрыта крупными баянусами размером 4,3—4,5 мм. По краям многослойные обрастания. Много разных трубчатых червей, изредка ботриллусы
6 С 18 по 24.VIII 1962 г.	18,4 кгц	4700/10	Обрастания постепенно наползают на ранее свободные участки, совпадавшие с фигурами звуковых полей. Централь-	4400/10	Центральная часть (10%) покрыта мелкой осыпью; остальная поверхность сплошь обросла. Поля не выявлены	2700,10	В центре около 20% свободно от обрастаний, местами легкая осыпь мелких циприсов и баянусов. На остальной	Сплошное обрастание. Состав разнообразный

Продолжение табл. 1

№ опытов и дата	Частота коле- баний	Звуковое дав- ление (в ба- рах)*	Результаты биологического анализа обрастаний на пластинах					
			Пластина I (круглая, 50 см)	Звуковое да- вление (в барах)*	Пластина II (квадратная, 2500 см²)	Звуковое да- вление (в барах)*	Пластина III (квадратная, 2500 см²)	Пластина-контроль (квадратная, 2500 см²)
6 С 18 по 24.VIII 1962 г.	18,4 кГц	4700/10	ная часть более или менее свободна	4400/10		2700/10	части мощные обраста- ния	
7 С 29.VIII по 7.IX 1962 г.	17,4 кГц	5100/10	Много коррозии в цент- ре и на скосах. В верх- ней части намечаются чистые поля. На осталь- ной поверхности мел- кая, свежееосевшая осыпь белянусов размером 0,7—0,8 мм, изредка 1,3 мм	6900/10	Коррозия пятнами поч- ти по всей поверхности. Замечается отслаивание тонких пленок металла (или окалина). В цент- ре участки без коррозии и обрастаний. На ос- тальной поверхности — мелкая осыпь беляну- сов размером 0,7— 0,8 мм, изредка 1,3 мм	6800/10	Около 30% поверхности вверх и вниз от центра чисты от обрастаний. На остальной поверх- ности обрастания рас- пределяются соответ- ственно звуковым по- лям. Много отслаиваю- щихся пленок металла	Густая равномерная осыпь обрастаний по всей поверхности
Все пластины окрашены антикоррозионным лаком ЭКЖС-40								
7а С 29.VIII по 26.IX 1962 г.	17,4 кГц	5100/10	Центр свободен от зоо- обрастаний. На местах, свободных от коррозии, значительный слой об- растаний из белянусов и трубчатых червей, от- дельные пятна ботрил- люсов и пучки гидрои- дов, слой водорослей	6900/10	Коррозия на скосах пластины. Под покро- вом водорослей, соот- ветственно звуковым по- лям, слой обрастаний, отдельные крупные осо- би трубчатых червей, ботриллюсов	6800/10	Рисунок полей сохра- нен. Зоообрастаний очень мало. На большей части пушок зеленых во- дорослей. Совершенно нет ботриллюсов, доми- нировавших в это вре- мя в обрастаниях вооб- ще	Сплошной покров об- растаний, в основном ботриллюсы, среди них белянусы, местами мшанки, рассеяны ми- дии, одиночные асцидии
Все пластины окрашены антикоррозионным лаком ЭКЖС-40								
8			В центре несколько ма- леньких свободных уча- стков. Звуковые поля не		Густая мелкая осыпь белянусов распределена по рисунку звуковых по-		Кроме нескольких чис- тых участков, в центре везде равномерная осыпь	Равномерная осыпь ба- лянусов, от свежееосев- ших до 1,9 мм. На осве-

С 29.IX по 11.X 1962 г.	17,6 кгц	1700/10	выявлены; равномерная сплошная мелкая осыпь балаюсов и колоний ботриллюсов	2500/10	лей. Много трубок кор- рофиид	3700/10	мельчайших балаюсов, молодые ботриллюсы, редкие трубки червей	ценной стороне — ко- лонии ботриллюсов из одной-двух особей
-------------------------------	----------	---------	---	---------	----------------------------------	---------	---	---

Продолжение опыта № 8, начатого 29.IX 1962 г.

8а								
С 29.IX по 24.X 1962 г.	17,6 кгц	1700/10	В центральной части не- сколько пустых участ- ков. 85% поверхности занято корками мша- нок, ботриллюсами, тру- бками червей. Первона- чальная осыпь балаю- сов постепенно исчезает	2500/10	Около 60% поверхно- сти свободно от обра- станий. Отчетливо про- явились звуковые поля, ранее занятые осыпью балаюсов. На обросших участках балаюсы, ред- ко мшанки, много тру- бок коррофиид	3700/10	На лицевой стороне, кроме двух участков в центре (~25%), густые обрастания. На стороне с вибратором — от верх- него края пластины в виде треугольника, впи- санного в квадрат, (~ 40% поверхности) свободно от обрастаний	Густой покров сплош- ных обрастаний

Продолжение опыта № 8, начатого 29.IX 1962 г.

8б								
С 29.IX по 13.XI 1962 г.	17,6 кгц	1700/10	Только на нескольких небольших участках по ходу концентрических полос обрастаний мель- чайшая осыпь балаю- сов. Вся остальная по- верхность сплошь зарос- ла многослойными бот- риллюсами, по краю — гидроиды	2500/10	Два участка в центре свободны от обраста- ний, по краям — точеч- ные балаюсы. В верх- ней части на границе линий звуковых полей — мелкие мидии. На осве- щенной стороне — зе- леные водоросли	3700/10	Вверх и вниз от центра два больших участка с мельчайшей осыпью ба- лаюсов. Остальная часть густо заросла раз- ными обрастателями	Сплошная кора обра- станий, ботриллюсы, ми- дии, по краям — гидрои- ды

Продолжение опыта № 8, начатого 29.IX 1962 г.

8в								
С 29.IX по 27.XI 1962 г.	17,6 кгц	1700/10	Участки, занимаемые ра- нее мелкой осыпью ба- лаюсов, полностью очи- стились. На остальной площади — многослой- ные ботриллюсы	2500/10	Центральная часть поч- ти полностью очистилась от точечных балаюсов. Мидии по краям пла- стины расположены по линиям звуковых полей.	3700/10	Два больших участка, ранее покрытых осыпью мельчайших балаюсов, совершенно чисты. На остальной площади ха- рактер обрастания та- кой же	Сплошное многослойное обрастание

* Числитель дроби означает среднее звуковое давление в воде (в барах), знаменатель — расстояние от пластины (в мм).

Дальнейшие исследования возможности использования малых мощностей ультразвукового излучения для защиты от обрастания представляют значительный интерес, так как результаты этих исследований могут повысить технико-экономический эффект.

Как подтверждают проведенные нами исследования, ультразвуковые волны, в отличие, например, от рентгеновских лучей, не обладают аккумулярующим действием. Длительные воздействия слабых интенсивностей могут не вызывать видимых изменений у организмов,

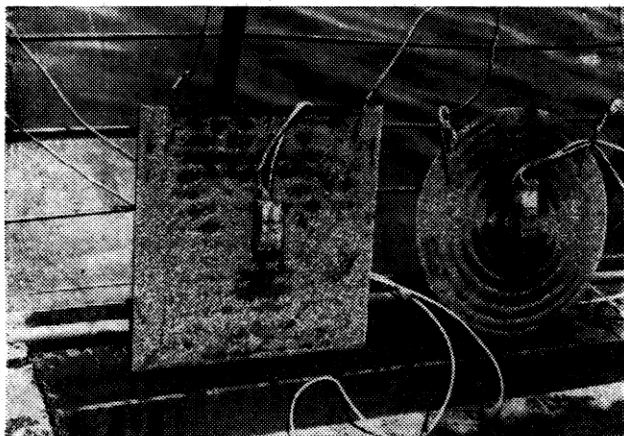


Рис. 5. Распределение обрастаний на озвучиваемых пластинках в зависимости от расположения акустических полей.

подвергнутых звуковому облучению. Многочисленные опыты показали, что если при определенной акустической мощности производить ультразвуковое облучение личинок на протяжении 10 минут с интервалами после каждой минуты воздействия в 1, 2, 3 или 5 минут, акустический эффект будет несоизмеримо ниже или даже в большинстве случаев вообще не проявляется, тогда как при непрерывном озвучивании в течение 10 минут эффект достигается почти в 100% случаев.

Таким образом, явного накопления действия ультразвуковой энергии при прерывистом озвучивании, видимо, не происходит. При длительном ультразвуковом воздействии слабых нелетальных доз и отсутствии ясно выраженных ответных проявлений организма, основываясь только на внешних показателях нормального функционирования, еще нельзя судить о вероятности восстановления внутриклеточных изменений, возможных при ультразвуковом воздействии. Ниже определенной пороговой силы звука разрушающее действие, по-видимому, отсутствует и даже может иметь место стимулирование жизненных процессов, в частности ускорения развития. Если интенсивность облучения становится ниже некоторой определенной величины, животные не гибнут даже при очень длительном воздействии ультразвука (Wolf, 1947).

Известно, что даже в устойчивых к ультразвуковому воздействию организмах возникают не сопровождающиеся гибелью клеток тонкие биохимические и физико-коллоидные сдвиги. Рядом исследователей выявлено, что под действием ультразвуковых волн происходит, по-

видимому, «расшатывание» внутриклеточных молекулярных комплексов, или мицелл, что выражается в повышении активности некоторых ферментов и в увеличении выхода других биологически активных веществ. Действие ультразвуковых волн, по-видимому, не сводится только к «расшатыванию» тех молекулярных комплексов, которые связаны с поверхностными структурами клеток и клеточных элементов. «Расшатыванию» и распаду подвергаются в результате этого воздействия, по-видимому, молекулярные комплексы, входящие в состав и других клеточных структур (Эльпинер, 1956).

Воздействие ультразвуковых волн, являясь по своему механизму функцией многих причин и в первую очередь интенсивности и частоты колебаний, чувствительности организма, его вида, возраста, стадии развития и т. д., может вызывать смерть организма, связанную с разрывом тела, какими-либо заметными внешними или внутренними повреждениями, либо не сопровождающуюся никакими внешними морфологическими изменениями, а лишь в результате воздействия на нервную систему (Frenzel H., Hinsberg K., Schulter H., 1933), либо вызывая какие-то внутриклеточные глубокие сдвиги физико-химического порядка, не нарушая при этом клеточные структуры.

Ультразвуковой метод защиты от обрастания принципиально глубоко отличен от общепринятых химических способов, при которых может иметь место более или менее быстрое отравление организма в результате создаваемой на поверхности краски высокой концентрации токсинов (что бывает очень редко), а главным образом за счет постепенного накопления в теле прикрепляющихся личинок обрастателей таких концентраций ядов, которые приводят к летальному эффекту.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАБОРАТОРНЫХ И СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Биологическое действие ультразвука обычно связывают с переменным акустическим давлением или силами, развивающимися вследствие больших ускорений частиц в озвучиваемой среде. Влияние ультразвука на живой организм зависит от того, находится ли он в пучности давления или в пучности ускорения. Опыты Гольдмана и Лепешкина Goldmann D. E. a. Lepeschkin W. W., 1952) показали, что у нитчатой водоросли *Spirogyra*, расположенной по направлению распространения стоячих ультразвуковых волн, разрушаются только отдельные участки нити с интервалами между ними в половину длины волны. Эти разрушения происходят в местах, соответствующих наибольшему переменному звуковому давлению.

Аналогичные результаты были получены с одно- и многоклеточными организмами, помещенными в поле стоячих ультразвуковых волн. Так, например, инфузории не поражаются в течение 1,5—2 минут в узлах давления и немедленно разрушаются вблизи пучности давления. Определенный биологический эффект обнаружен и в пучности ускорения или в узле давления. Это означает, что в механизме биологического действия участвуют также силы, возникновение которых связано, по-видимому, с акустическим движением частиц в озвучиваемой среде (Эльпинер, 1955).

По-видимому, в большом разнообразии интимных особенностей биологического действия ультразвука следует искать ответ на вопрос

о том, почему в многочисленных опытах при одном и том же звуковом воздействии и по силе и по времени одна и та же группа организмов вела себя по-разному.

Принимая во внимание, что при ультразвуковом воздействии не проявляется эффект накопления, можно полагать, что для получения летального результата, видимо, играет роль не общее количество звуковой энергии, переданной за какой-то отрезок времени, а кратковременное воздействие с той интенсивностью, которая способна вызвать желаемый эффект.

Исходя из таких предпосылок можно было бы сделать вывод, что для защиты от обрастания (предотвращение оседания и прикрепления личинок обрастателей) с помощью ультразвука необходимо, чтобы звучащая поверхность создавала колебания такой интенсивности, которая достаточна для мгновенного умерщвления несметных количеств личинок обрастателей, пытающихся осесть на погруженный в море предмет.

Мы полагаем, что задача ультразвуковой защиты от обрастания должна решаться не путем использования таких интенсивностей, которые вызывали бы мгновенное массовое уничтожение личинок в море, а созданием таких условий на погруженной в море поверхности, которые препятствовали бы оседанию и последующему прикреплению или развитию осевших личинок.

Многообразие проявлений биологического действия ультразвуковых волн определяется не только их частотой и интенсивностью, значительную роль здесь играет структура и строение живого организма, его функциональное состояние (Эльпинер, 1956).

Таблица 2

Лабораторные исследования влияния ультразвуковых колебаний на личинок организмов обрастания

№ опытов	Звуковые давления (в барах)	Продолжительность озвучивания	Организмы обрастания	Состояние организмов после облучения		
				% живых	% нежизнеспособных	% мертвых
84, 87	540, 10 ³	5 сек.	Циприс (балянус)	—	—	100
80, 82, 85	540, 10 ³	10 сек.	То же	14	—	86
153, 172	540, 10 ³	15 сек.	» »	28	—	72
152, 171	540, 10 ³	30 сек.	» »	28	—	72
35, 36	480, 10 ³	2 мин.	» »	—	—	100
173	320, 10 ³	10 сек.	» »	25	—	75
174	320, 10 ³	5 сек.	» »	—	—	100
183	320, 10 ³	3 сек.	» »	—	—	100
125, 127, 128	480, 10 ³	1 мин.	Науплиус (балянус)	20	8	72
49, 54	480, 10 ³	2 мин.	То же	20	—	80
18, 19, 20	480, 10 ³	5 мин.	» »	4	4	92
55, 57	320, 10 ³	2 мин.	» »	—	16	84
22, 24	240, 10 ³	5 мин.	» »	5	30	65
106, 107	540, 10 ³	15 сек.	Мидии (велигер)	33	—	67
108, 109	540, 10 ³	30 сек.	То же	20	—	80
105	540, 10 ³	1 мин.	» »	—	—	100
229	150, 10 ³	5 мин.	» »	25	—	75
44, 46, 47	320, 10 ³	1 мин.	Цифонаутес (мшанка)	27	6	67
42, 45	320, 10 ³	2 мин.	То же	—	—	100
221, 225	150, 10 ³	5 мин.	» »	25	—	75

Чувствительность организмов и, в частности, личинок обрастателей, осуществляющих дальнейшее развитие обрастаний, различна не только для разных видов, но и для разных стадий развития (табл. 2). Так, например, для достижения летального эффекта у циприсов необходимо затратить значительно больше звуковой энергии, чем для молодых баянусов. Подтверждение этому мы находим и в результатах опытов по исследованию воздействия ультразвуковых колебаний на процесс обрастания в море: на отдельных, иногда больших участках озвучиваемых пластинок наблюдалась густая мельчайшая осыпь не только прикрепившихся циприсов, но и молодых баянусов, однако через 5—10 дней от этой осыпи не остается и следа. Молодые баянусы вскоре отмирают и осыпаются.

Следует также учитывать различную сезонную устойчивость организмов, особенно личинок обрастателей: летне-осенние генерации одного и того же вида обладают значительно большей устойчивостью и выносливостью, чем весенне-летние. Результаты опытов показали, что для достижения желаемого эффекта интенсивность колебаний и время воздействия на летне-осенние формы должно быть заметно больше, чем на весенне-летние.

Выводы

Для установления механизма ультразвукового воздействия на оседание и развитие обрастаний необходимо провести большие и серьезные исследования.

Результаты проведенных лабораторных исследований, а также установленное стендовыми опытами значительное (в десятки раз) уменьшение обрастаний при воздействии ультразвуковых колебаний и наличие в период наибольшей интенсивности обрастаний свободных, не обросших участков на вывешенных в море озвучиваемых пластинах указывает на целесообразность работы в этом направлении и несомненную эффективность ультразвукового способа борьбы с обрастанием.

Задача ультразвуковой защиты от обрастания должна решаться не путем использования таких интенсивностей, которые вызывали бы мгновенное массовое уничтожение всех личинок, так или иначе вступающих в контакт с озвучиваемой поверхностью, а созданием таких условий на погруженной в море поверхности, которые препятствовали бы этому процессу, временно лишая личинку возможности осуществления хотя бы один из этапов, предшествующих возникновению обрастания, а именно: прикрепление, оседание, метаморфоз, последующий рост и развитие. Дальнейшие лабораторные и стендовые испытания должны быть направлены на то, чтобы установить необходимые параметры ультразвукового воздействия и добиться максимального эффекта при минимальной затрате ультразвуковой энергии.

ЛИТЕРАТУРА

- Аксельбанд А. М., 1962, Ультразвуковая защита судна от обрастания, Защита от морского обрастания, Изд-во АН СССР.
Бергман Л., 1957, Ультразвук и его применение в науке и технике (перевод с немецкого), ИЛ, М.
Долгопольская М. А., 1959, К методике биоконтроля эффективности противообрастающих покрытий, Тр. Севаст. биол. ст., т. XII.
Долгопольская М. А. и Гуревич Е. С., 1960, Токсичность различных ядов, используемых в противообрастающих красках, Тр. Севаст. биол. ст., т. XIII.

- Матов И. Т. и Сушков Б. Б., 1959, Ультразвук на службу морскому флоту, Морской флот, вып. 8.
- Петраки Д., 1959, Коррозия корпусов судов (перевод с итальянского), Судпромгиз, Л.
- Эльпинер И. Е., 1955, О механизме действия ультразвуковых волн на микроорганизмы, Микробиология, т. XXIV, вып. 3.
- Эльпинер И. Е., 1956, Современное состояние вопроса о биологическом действии ультразвуковых волн, Биофизика, т. 1, вып. 6.
- Frenzel H., Hinsberg K., Schultze H., 1933, Zur Methodik Experimenteller Untersuchungen über die biologische Wirkung von Ultraschallen, Zs. ges. exp. Med., 89.
- Goldmann D. E. and Lepeschkin W. W., 1952, Injury to living cells in standing sound waves, J. Cell. and Comp. Physiol., 40.
- Wolf F., 1947, Bestimmung der Latenzdosen mit Ultraschallwellen bei verschiedenen organismen, Dissertation Erlangen (цит. по Бергман, 1957).
-