



Понимание того, что низкочастотная (НЧ) гидроакустика является уникальным инструментом для дистанционного исследования протекающих в океане процессов и может быть эффективно применена в различных, в том числе оборонных, целях, пришло уже достаточно давно. Хорошо известно, что НЧ звук распространяется в океане практически без затухания благодаря формированию в верхнем слое океана *подводного звукового канала* (ПЗК) – акустического волновода рефракционного типа. Именно благодаря этому НЧ акустика имеет очевидное преимущество в решении широкого круга задач диагностики океана на акваториях, размеры которых составляют сотни и даже тысячи километров. Однако, для практического воплощения этого потенциального преимущества необходимо исследовать целый ряд принципиальных и заранее неочевидных проблем формирования акустических полей в океанических волноводах в условиях дальнего распространения на такие дистанции.

С момента образования ИПФ РАН в 1977 г. и до сегодняшнего дня экспериментальные и теоретические исследования низкочастотных звуковых полей в океане являются одним из основных направлений научных исследований Отделения. Главные цели этих работ состоят в решении комплекса задач, включающего:

- построение физических и математических моделей звуковых полей при дальнем распространении акустических сигналов в ПЗК различного типа;
- разработку низкочастотных излучающих и приемных гидроакустических систем, анализ и оптимизация их характеристик в условиях реального океана, создание излучающих и приемных систем, обеспечивающих выполнение натурных экспериментов;
- развитие специальных методов и алгоритмов обработки данных и разработку на этой основе методов решения обратных задач НЧ акустики океана – акустической томографии океана, включая задачи акустического мониторинга неоднородностей водной толщи, структуры дна и параметров поверхностного волнения.

Важнейшей частью исследований Отделения в области НЧ акустики океана являются натурные эксперименты, проведенные в разные годы на акваториях всех четырех океанов в сотрудничестве с коллегами из ИО РАН, ИОФ РАН, АКИН и ряда других институтов. Эксперименты выполнялись в ПЗК различного типа: в приповерхностных каналах северо-западной части Тихого океана и Арктики, в глубоководных каналах, типичных для средних и низких широт, в мелководных каналах окраинных морей и шельфовых зон. Все эти каналы обладают заметной спецификой распространения НЧ звука на больших дистанциях. Большинство измерений выполнено с использованием научно-исследовательских судов, буксирующих излучающую и приемную аппаратуру. Наряду с корабельными экспериментами, большую практическую важность имеют долговременные наблюдения за изменчивостью звуковых сигналов на стационарных акустических трассах (между стационарно установленными излучателями и приемными антенными решетками). В дополнение к натурным экспериментам в открытом океане и окраинных морях, на оз. Санхар (Владимирская обл.) и Горьковском водохранилище выполнен цикл экспериментальных работ по масштабному физическому моделированию распространения звука в мелком море и развитию методов гидроакустических измерений.



Б.Н. Боголюбов
зав. отделом, к.т.н.



А.Г. Сазонтов
зав. лабораторией, д.ф.-м.н.



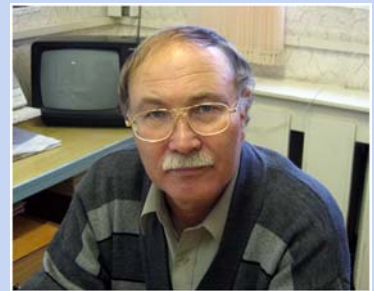
А.И. Хилько
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.



В.Н. Голубев
зав. лабораторией



В.Р. Коган
зав. лабораторией, к.ф.-м.н.



В.Ф. Новиков
зав. сектором



А.Л. Вировлянский
в.н.с., д.ф.-м.н.



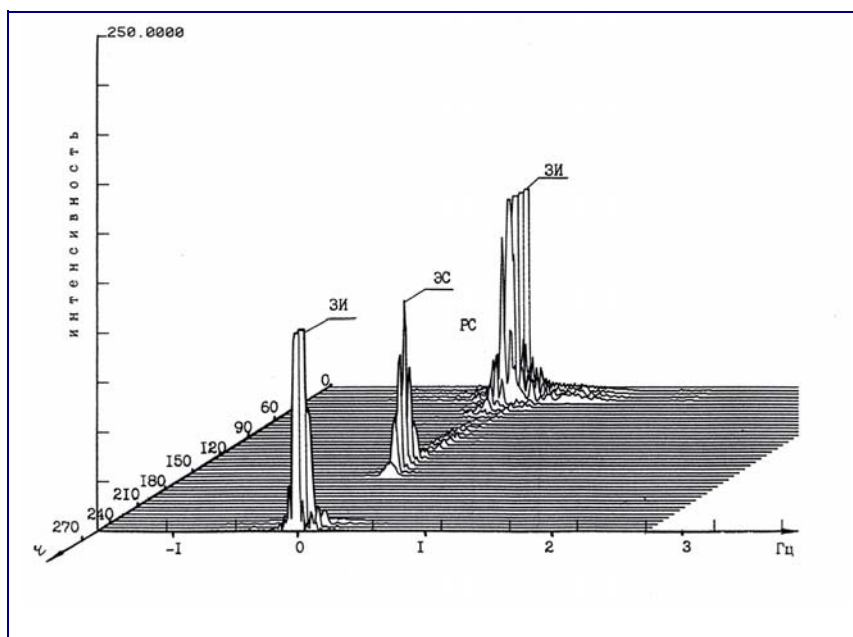
Ю.В. Петухов
в.н.с., д.ф.-м.н.



Г.А. Шаронов
в.н.с., к.ф.-м.н.

ДАЛЬНЕЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА В ОКЕАНЕ

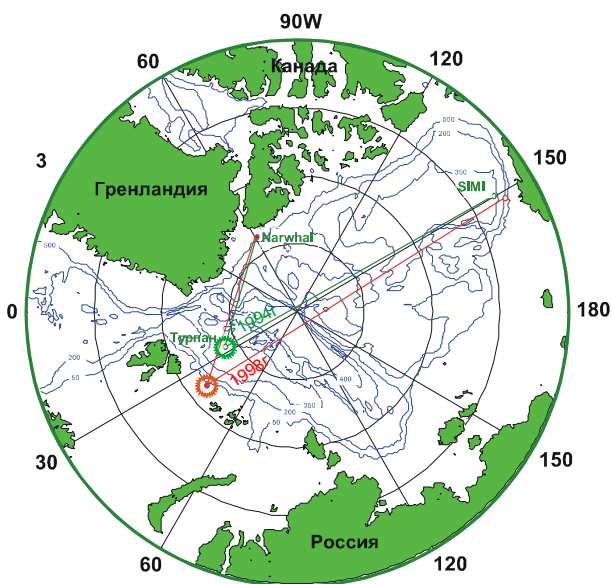
При теоретическом анализе дальнего распространения звука в океане на первый план выходит учет накапливающихся с дистанцией *статистических эффектов*, обусловленных влиянием случайных неоднородностей океанического волновода. Сотрудниками Отделения построено статистическое описание модовой структуры низкочастотного звукового поля в океане, учитывающее многократное рассеяние звука на случайных объемных неоднородностях (прежде всего, на внутренних волнах) и поверхностном ветровом волнении. Этот подход базируется на использовании методов статистической радиофизики при решении стохастических уравнений для амплитуд мод [1-5]. В результате были установлены теоретически и численно основные закономерности дальнего распространения НЧ звука в океанических волноводах, формирования сигналов реверберации (обратного рассеяния), которые получили экспериментальное подтверждение в экспедиционных исследованиях, выполненных в различных регионах Мирового океана [6,7]. К важнейшему из полученных при этом экспериментальных результатов относится натурная демонстрация возможности дальнего (до 500 км) картирования подводных возвышенностей и обнаружения других локализованных неоднородностей океана, которая послужило основой для разработки ИГФ РАН важного предложения о принципах организации и структуре *системы освещения подводной обстановки* для дальневосточных морских рубежей России.



Регистрация узкополосного эхо-сигнала от локализованной неоднородности подводного звукового канала (подводной горы), удаленной на 150 км от приемной системы: ЗИ – зондирующий импульс, РС – сигнал реверберации, ЭС – сигнал рассеяния на неоднородности.

Полученные результаты по дальнему распространению звука положены в основу исследования когерентных свойств акустических сигналов на длинных трассах и связанной с ними эффективности работы протяженных приемных антенн в океанических волноводах различного типа [4,8].

Обширный цикл экспериментальных и теоретических исследований выполнен также по изучению интерференционных структур тональных и импульсных сигналов в подводных звуковых каналах [9,10]. Существенным их результатом стала разработка методов восстановления геоакустических параметров осадочной толщи дна по наблюдаемым характеристикам интерференционной картины звукового поля [11].

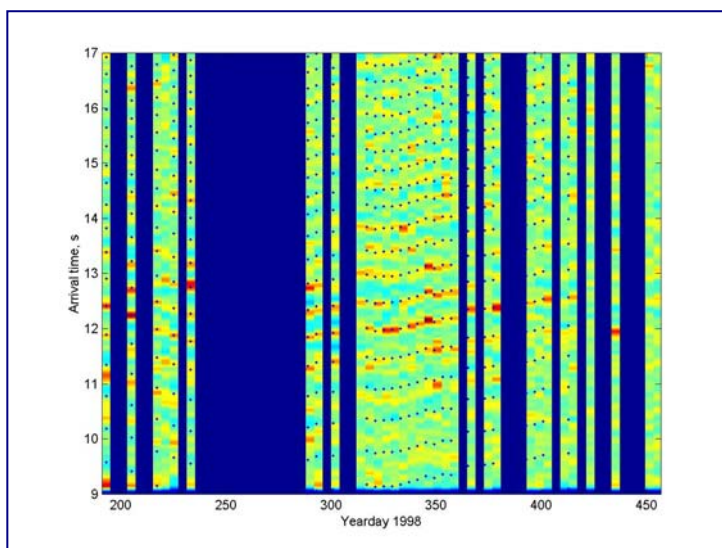


Стационарные акустические трассы в Северном Ледовитом океане, реализованные в рамках российско-американских экспериментов по программе АТОК: эксперименты ТАР (1994 г., зеленый цвет) и АСОУС (1998-1999 гг., красный цвет). Длина трасс от 1000 км до 2600 км.

С конца 80-х годов начались совместные исследования с коллегами из США и Европы. Особое значение среди них имеют российско-американские проекты по проблеме *акустической термометрии океанического климата* (АТОК) на стационарных акустических трассах в Тихом океане (трасса Гавайи – Камчатка, 4700 км) и в Северном Ледовитом океане (несколько трасс протяженностью от 1000 км до 2600 км). Результаты этих работ позволили сделать вывод о возможности практической реализации прототипа системы долговременного мониторинга температуры океанических вод.

В тематике работ Отделения нашло свое отражение новое направление в акустике океана, появившееся во второй половине 90-х годов и связанное с изучением явлений

лучевого и волнового хаоса при дальнем распространении звука в океане. Эти явления важны как с фундаментальной точки зрения, так и с точки зрения анализа реальных возможностей акустической диагностики океана на сверхдлинных акустических трассах, включая акустическую термометрию океана. В цикле недавних работ построена теория эффекта кластеризации времен прихода звуковых импульсов вдоль многочисленных хаотических лучей, соединяющих источник и приемник на трассе длиной порядка нескольких тысяч километров [12,13]. Эти результаты представляют большой интерес для интерпретации данных натуральных экспериментов по акустической термометрии океана на сверхдлинных акустических трассах.



Вариации времени прихода импульсных сигналов на акустической трассе Гавайи – Камчатка (4700 км, данные 1998-1999 гг.). Каждая вертикальная полоска показывает структуру регистрируемого сигнала в определенный день года, номер которого отложен по оси абсцисс (темные полосы соответствуют дням, в течение которых регистрация не велась). По оси ординат отложено время прихода лучевых импульсов. Точки показывают расчетные значения времен прихода импульсов по отдельным лучам; светлые пятна – регистрируемые времена лучевых приходов с учетом конечного временного разрешения [A.L. Vrovlyansky, V.V. Artelny, and A.A. Stromkov // Proc. U.S. – Russia Workshop on Experimental Underwater Acoustics, Nzhny Novgorod, Inst. Appl. Phys. RAS, 2000, pp. 33-46].

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Артельный В.В., Кукушкин В.Д., Раевский М.А. Об энергетических и корреляционных характеристиках низкочастотных акустических волн в подводных звуковых каналах // *Акуст. журн.*, 1986, т. 32, № 5, с. 591-597.
- [2] Нечаев А.Г. Затухание интерференционной структуры акустического поля в океане со случайными неоднородностями // *Акуст. журн.*, 1987, т. 33, № 3, с. 535-538.
- [3] Сазонтов А.Г. Квазиклассическое решение уравнения переноса излучения в рассеивающей среде с регулярной рефракцией // *Акуст. журн.*, 1996, т. 42, № 4, с. 551-559.
- [4] Gorodetskaia E.Yu., Malekhanov A.I., Sazontov A.G., Vdovicheva N.K. Deep water acoustic coherence at long ranges: Theoretical prediction and effects on large array signal processing // *IEEE J. Oceanic Eng.*, 1999, vol. 24, № 2, pp. 156-171.
- [5] Sazontov A.G., Matveyev A.L., Vdovicheva N.K. Rough surface scattering effects on acoustic coherence in shallow water: Theory and observation // *IEEE J. Oceanic Eng.*, 2002, vol. 27, № 3, pp. 653-664.
- [6] Абросимов Д.И., Авербах В.С., Долин Л.С., Капустин П.А., Лучинин А.Г., Некрасов В.Н., Нечаев А.Г., Островский Л.А., Плахин Е.А., Подражанский А.М., Славинский, М.М., Сутин А.М., Филюшкин Б.Н. Экспериментальное исследование низкочастотных звуковых полей в океане и оценка возможности прогнозирования их характеристик // *ДАН СССР*, 1988, т. 299, № 2, с. 477-481.
- [7] Авербах В.С., Бондарь Л.Ф., Голубев В.Н. и др. Дальняя поверхностная реверберация звука в океане // *Акуст. журн.*, 1990, т. 36, № 1, с. 29-33.
- [8] Малеханов А.И., Таланов В.И. Оптимальная пространственная обработка сигнально-помеховых полей в океанических волноводах // *Океаническая акустика* / Под ред. Л.М. Бреховских, Ю.П. Лысанова. – М.: Наука, 1993, с. 240-255.
- [9] Орлов В.Ф., Шаронов Г.А. *Интерференция звуковых волн в океане*. Владивосток: Дальнаука, 1998. 196 с.
- [10] Sharonov G.A., Kerzhakov B.V., Kulinich V.V., Lazarev V.A., Sokolov A.D. Experimental investigations of interference patterns of broadband low frequency sound in ocean inhomogeneous waveguides // *Ocean Acoustic Interference Phenomena and Signal Processing*, Ed. by W.A. Kuperman and G.L. D'Spain, AIP, Melville, 2002, pp. 13-32.
- [11] Фокин В.Н., Фокина М.С., Шаронов Г.А. Идентификация слоистого морского дна в мелком море по пространственно-частотным зависимостям потерь // *Акуст. журн.*, 1997, т. 43, № 5, с. 688-695.
- [12] Virovlyansky A.L. Ray travel times at long ranges in acoustic waveguides // *J. Acoust. Soc. Amer.*, 2003, vol. 113, №5, pp. 2523-2532.
- [13] Вировлянский А.Л. Статистическое описание лучевого хаоса в подводном акустическом волноводе // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, № 1, с. 90-100.

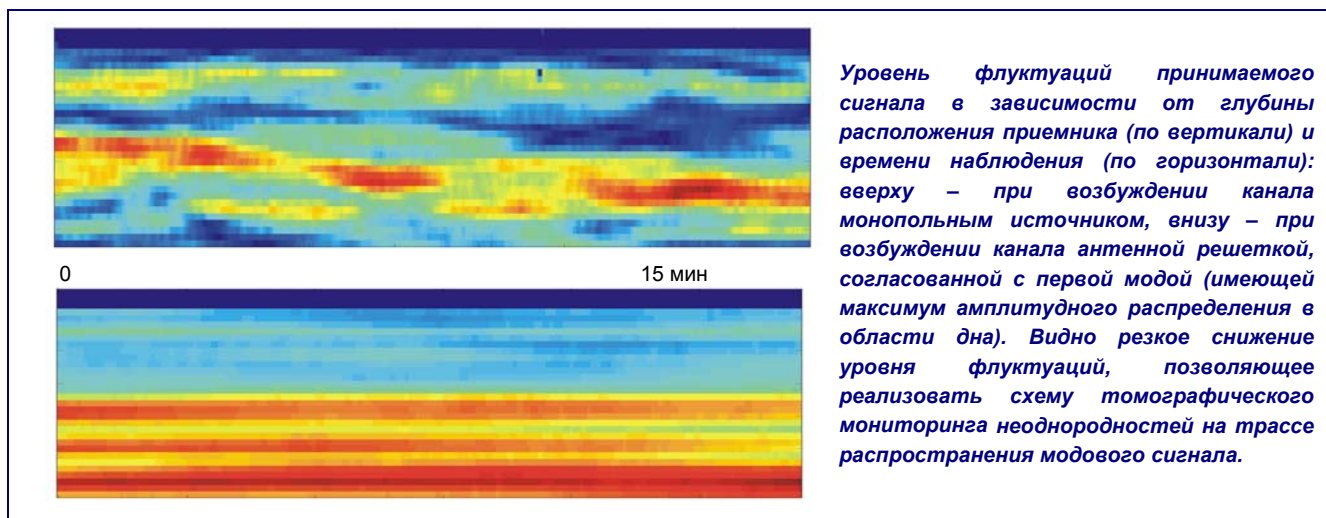
АКУСТИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ ОКЕАНА

К важнейшим проблемам низкочастотной акустики океана относится развитие методов акустической томографии океана и в более широком смысле – методов акустической диагностики неоднородностей в океанических волноводах. Это направление объединяет как решение задачи собственно распространения звука в океаническом волноводе (прямой задачи), так и решение обратной задачи – реконструкции по данным измерений акустических характеристик самой акватории или присутствующих в ней локализованных неоднородностей (природного или искусственного происхождения).

Значительный интерес представляют предложенные в Отделении новые методы акустической томографии океана, включая варианты модовой и лучевой томографии. Опыт этих исследований к середине 90-х годов обобщен в совместной со специалистами ИО РАН монографии [1]. Один из таких методов – метод дифференциальной модовой томографии [2] – положен в основу разработки *маломодовой импульсной томографии* (МИТ) как перспективного подхода к реализации практической системы акустического мониторинга мелкого моря [3]. Метод МИТ основан на регистрации эффекта трансформации модового состава НЧ акустического поля в мелководном канале в результате рассеяния звука на локализованных неоднородностях канала (поверхностных или объемных). Его техническая реализация основана на использовании специальных вертикальных антенн (излучающих и приемных), способных осуществлять селекцию модового состава акустического сигнала.

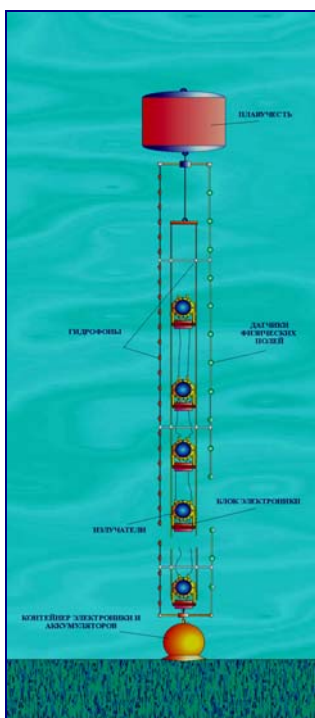
Потенциальные приложения МИТ не ограничиваются важными задачами гидроакустического обнаружения и контроля несанкционированного проникновения подводных объектов в заданную акваторию, но включают также задачи поиска морских месторождений природных ресурсов, мониторинга состояния биоресурсов, подводной навигации и т.д.

Для проверки развитых физических моделей и алгоритмов МИТ в натуральных условиях в Отделении разработаны и созданы уникальные излучающие и приемные антенные комплексы, способные обеспечить, соответственно, селективное возбуждение и селективное регистрацию модовых импульсов в мелководных каналах (см. также раздел **Технические средства низкочастотной акустики океана**). Результаты серии натуральных экспериментов в Балтийском и Баренцевом морях, выполненных под руководством А.Г. Лучинина в 2002–2005 гг., позволили сделать вывод о возможности построения системы томографического мониторинга мелкого моря на основе схемы МИТ [3]. В частности, экспериментально подтверждена высокая эффективность селективного возбуждения гидроакустического волновода решеткой излучателей с управляемым амплитудным распределением. Показано, что уровень сигнала реверберации уменьшается на 10 дБ при возбуждении канала антенной, согласованной с первой модой волновода (в сравнении со случаем монополюсного источника, возбуждающего широкий спектр мод), при этом происходит также заметное уменьшение уровня флуктуаций полезного сигнала в дальней зоне. Получены экспериментальные оценки декрементов затухания волноводных мод низких номеров, средние значения которых для условий района измерения составили величину 0.04 дБ/км.



Кроме разработки новых подходов к акустической томографии океана на основе модового представления звукового поля в ПЗК, развитие получили также и *лучевые схемы* томографии неоднородностей поля скорости звука в глубоководных каналах [1]. В частности, сотрудниками Отделения разработан новый метод реконструкции средней температуры в водном слое, успешно использованный при анализе данных международного томографического эксперимента THESIS II в Средиземном море (НИС «Академик Сергей Вавилов», 1994 год). В качестве информативных параметров при решении обратной задачи использованы разности времен приходов акустических импульсов по идентифицированным группам лучевых траекторий в условиях частичного разрешения отдельных лучей [4,5].

Один из наиболее важных результатов по развитию методов акустической диагностики локализованных неоднородностей в подводных звуковых каналах связан с применением известного в оптике метода темного поля для обнаружения и локализации мелкомасштабных объектов, рассеивающих прямой сигнал подсветки. *Метод акустического темного поля*, предложенный чл.-корр. РАН В.А. Зверевым и развитый им в цикле работ [6], был успешно апробирован в натурных экспериментах по диагностике локализованных неоднородностей в мелководных акваториях [7].



Приемно-излучающий модуль МИТ (схема постановки)



Постановка 16-элементной вертикальной излучающей антенны для селективного возбуждения мод в мелководном канале (эксперимент в Баренцевом море)

ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Гончаров В.В., Зайцев В.Ю., Куртепов В.М., Нечаев А.Г., Хилько А.И. *Акустическая томография океана*. – Ниж. Новгород: ИПФ РАН, 1997. 256 с.
- [2] Нечаев А.Г., Хилько А.И. Дифференциальная акустическая диагностика случайных неоднородностей океана // *Акуст. журн.*, 1988, т. 34, № 2, с. 285-289.
- [3] Лучинин А.Г., Хилько А.И. Низкочастотная акустическая томография мелкого моря с использованием маломодовых импульсов // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, № 2, с. 245-258.
- [4] Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю., Любавин Л.Я., Стромков А.А. Измерения разностей времен распространения сигналов вдоль лучей с борта дрейфующего судна // *Акуст. журн.*, 1999, т. 45, № 4, с. 473-478.
- [5] Вировлянский А.Л., Казарова А.Ю., Любавин Л.Я., Стромков А.А. Влияние неточности априорной информации при оценке средней температуры водного слоя в акустической томографии океана // *Акуст. журн.*, 2000, т. 46, № 5, с. 704-708.
- [6] Зверев В.А. Акустическое темное поле // *Акуст. журн.*, 2000, т. 46, № 1, с. 75-83.
- [7] Матвеев А.Л., Орлов Д.А., Родионов А.А., Салин Б.М., Турчин В.И. Сравнительный анализ томографических методов наблюдения я неоднородностей в условиях мелкого моря // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, № 2, с. 268-279.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА НИЗКОЧАСТОТНОЙ АКУСТИКИ ОКЕАНА

В разные годы в ИПФ РАН были разработаны, созданы и успешно апробированы специализированные технические средства для проведения натурных исследований в области низкочастотной гидроакустики. Наибольшую известность получили разработки НЧ гидроакустических излучателей и излучающих комплексов на их основе и приемных гидроакустических комплексов на базе цифровых кабельных антенн.

Низкочастотные гидроакустические излучатели и антенны

В ИПФ РАН созданы эффективные НЧ гидроакустические излучатели различного типа: узкополосные электромагнитные, широкополосные электродинамические и в последние годы – пьезокерамические излучатели нового поколения. Некоторые из них успешно использовались для создания многоэлементных антенных систем с управляемыми амплитудными и фазовыми распределениями, позволяющих формировать требуемое пространственное распределение акустического поля в подводном звуковом канале.

Узкополосные излучатели электромагнитного типа предназначены для генерации гидроакустических сигналов высокой интенсивности и создания систем акустического освещения подводной обстановки на больших акваториях. Долгое время им уделялось основное внимание, в результате был создан целый ряд таких излучателей в различных частотных диапазонах, отличающихся высокой удельной мощностью излучения (до 40 Вт/кг), высокой надежностью (ресурс $10^8 - 10^{10}$ циклов колебаний), высоким КПД (до 80%) и относительно низкой стоимостью.



Излучатели электромагнитного типа для частот от 70 до 600 Гц (слева и в середине); прототип излучателя для арктических исследований, частота 20 Гц (справа)



Параметры некоторых излучателей электромагнитного типа

частота, Гц	мощность, кВт	Полоса частот, %	КПД, %	масса, кг
20	0,25	8	30	500
20	1	16	70	4500
70	3	20	60	490
135	2	25	60	300
250	10	25	80	350
250	1	20	82	90
330	0,05	10	60	30

Автономный излучающий комплекс ИПФ РАН для долговременных исследований по акустической термометрии океана (российско-американский проект ACOUS, Северный Ледовитый океан, частота 20.5 Гц)

Широкополосные гидроакустические излучатели электродинамического типа были созданы для работы в составе буксируемых комплексов и антенн, применяемых в целях гидроакустического зондирования морских акваторий в полосе частот 15 Гц – 1.5 кГц (уровень излучения 200 Па/м). Магнитная система таких излучателей изготовлена с использованием



постоянных магнитов из редкоземельных металлов с большой коэрцитивной силой. Новая технология позволила создать эффективные широкополосные излучатели небольших габаритов, способные излучать акустические сигналы высокого качества с различными видами частотной и фазовой модуляции.

Буксируемый антенный комплекс на базе широкополосных излучателей электродинамического типа

Пьезокерамические излучатели нового поколения также разрабатывались в качестве эффективных НЧ излучателей различного назначения. Созданы и апробированы в натуральных экспериментах пьезокерамические излучатели малого волнового размера с рекордными параметрами для диапазона частот сотни Гц – единицы кГц в достаточно простых, технологичных и недорогих конструкциях. Все излучатели имеют в качестве излучающей поверхности два поршня различной формы, колебания которых возбуждаются следующими способами: в излучателях типа А – пружиной, выполненной в виде колеблющихся пластин, представляющих собой активный биморф; в излучателях типа В – резонаторами, также представляющими из себя активный биморф; в излучателях типа С – пьезокерамическим стержнем, составленным из набора пьезокерамических шайб. В предложенных конструкциях излучателей имеются возможности для формирования частотной характеристики сигналов путем подбора геометрии излучающей поверхности.

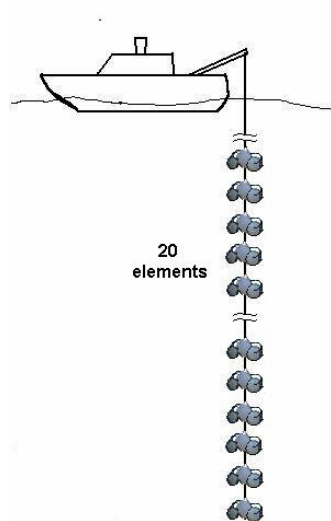
		<p>Тип А: резонансная частота 650 Гц диаметр 310 мм толщина 140 мм вес 16 кг</p>
		<p>Тип В: резонансная частота 2800 Гц диаметр 220 мм толщина 60 мм вес 8 кг</p>
		<p>Тип С: резонансная частота 700 Гц диаметр 700 мм толщина 720 мм вес 130 кг</p>

Низкочастотные гидроакустические излучающие антенны были созданы в Отделении на базе узкополосных электромагнитных излучателей. Антенны предназначены как для повышения общей излучаемой мощности сигнала, так и для управления пространственным распределением звукового поля в океаническом волноводе. С их использованием сотрудниками Отделения выполнен цикл натуральных экспериментов по НЧ акустическому зондированию океана и получены важные результаты, касающиеся разработки систем освещения подводной обстановки на больших акваториях (размером в сотни километров).

Современные разработки Отделения в этой области связаны с созданием вертикальных многоэлементных антенных решеток с управляемым амплитудным распределением для селективного возбуждения мод акустического волновода, необходимых для реализации метода маломодовой импульсной томографии мелкого моря (см. также раздел **Акустическая томографии океана**).



Объемная шестиэлементная излучающая антенна (рабочая частота 235 Гц, уровень излучения на оси диаграммы направленности 223 дБ), использовавшаяся при проведении экспериментов по дальнему распространению звука в Атлантическом океане



резонансная частота	330 Гц
мощность излучения	10 Вт
масса	35 кг
межэлементное расстояние	2,3 м

Вертикальная линейная излучающая антенна для работ в условиях мелкого моря: антенна на палубе судна (слева), схема ее постановки (в середине), общий вид и параметры одного элемента антенны (справа)

Приемные гидроакустические комплексы

Значение приемных антенн для экспериментальной гидроакустики сравнимо с вкладом оптических и радиотелескопов в астрономию: достижение принципиально новых возможностей здесь также связано с резким повышением качества приема сигналов в результате увеличения размеров приемной апертуры, повышения разрешающей способности и понижения уровня помех.

Для выполнения экспериментальных исследований в акваториях мелкого моря и на шельфе в ИПФ РАН создан не имеющий аналогов *Морской автономный измерительный комплекс* (МАИК). Комплекс предназначен для исследования характеристик шумоизлучения и реконструкции пространственно-частотного распределения акустической яркости протяженных надводных и подводных источников в полосе частот до 500 Гц. С его помощью впервые выполнены измерения шумоизлучения кораблей на уровне 15-20 дБ ниже уровня фоновых шумов морской акватории.

Основу МАИК составляет кабельная гидроакустическая антенна, объединенная с автономной системой регистрации, накопления и обработки данных. Антенна может быть оперативно установлена на глубину до 300 метров (в горизонтальном или вертикальном положениях в зависимости от конкретного назначения) и в автономном режиме накапливать данные измерений гидроакустического поля за период от суток до недели в зависимости от режима записи. Комплекс имеет звукоподводную связь, рассчитанную на управление режимом работы, контроль функционирования и получение данных со служебных датчиков. Уровень собственных шумов МАИК не превышает 35 дБ отн. 20 мкПа в третьоктавных полосах рабочего диапазона, что ниже любого известного уровня помех в море. При записи используются опорные генераторы со стабильностью на уровне 10^{-8} и точная синхронизация источника подсветки и тактовой частоты записи, что позволяет выделять во флуктуациях принимаемого сигнала влияние внутренних волн и солнечных ритмов.



МАИК на палубе перед постановкой



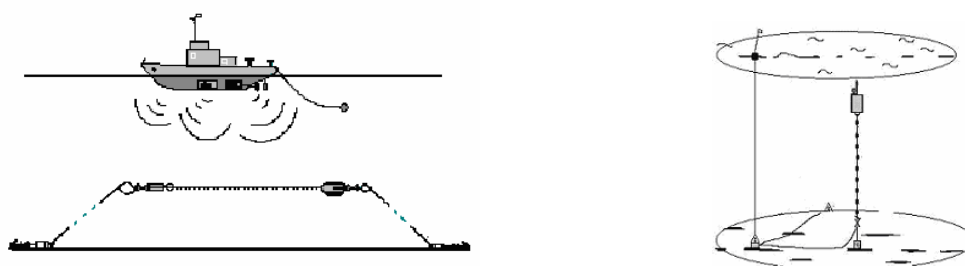
Кабельные антенны МАИК



Гермоконтейнер МАИК с аппаратурой

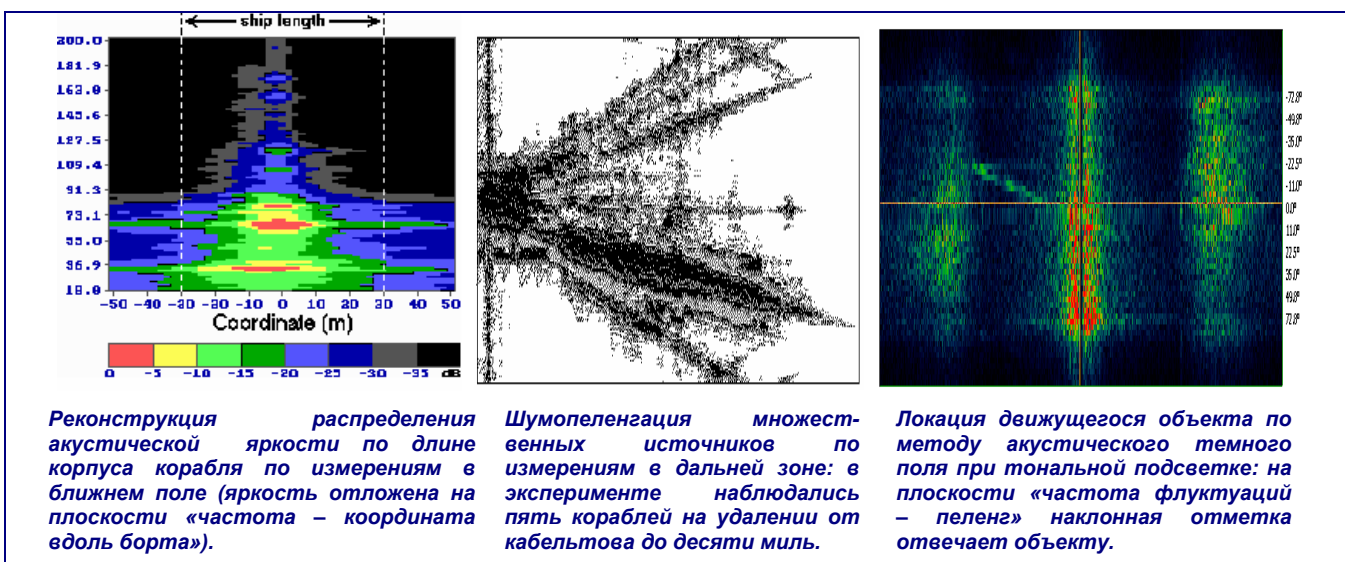
Для оснащения МАИК специально разработаны и созданы не имеющие аналогов *цифровые кабельные антенны* различного назначения. Приемные системы с апертурой до 200 м (содержащие 64 гидрофона) и высокой разрешающей способностью служат для исследования пространственной анизотропии шумового поля в акватории, динамики акустических полей на стационарных трассах. При горизонтальной постановке они используются в задачах слежения за движущимися источниками, реконструкции распределения яркости источников, голографии в ближнем поле и амплифазометрии, в частности, для реконструкции диаграммы направленности излучения исследуемого объекта по измерениям в ближнем поле.

Антенны с относительно небольшой апертурой (около 30 м) и неравномерным размещением гидрофонов имеют расширенный частотный диапазон (до 3 кГц), частотно-независимую область фокусировки и используются в задачах измерения уровня излучения малозумных объектов. Приемные системы с вертикальной постановкой позволяют проводить пространственную селекцию модового состава акустического поля в подводном канале и ориентированы на решение прикладных задач акустики мелкого моря. Одно из наиболее важных направлений их использования в работах Отделения связано с развитием метода маломодовой импульсной томографии мелководных акваторий, основанного на селективном излучении и регистрации отдельных мод канала с помощью протяженных вертикальных антенн (см. выше).



Варианты постановки МАИК в акватории: горизонтальная (слева) и вертикальная (справа) постановки

МАИК прошел успешную апробацию в акваториях Белого, Балтийского и Баренцева морей (на рисунке показан ряд экспериментальных результатов с использованием МАИК в различных приложениях).



ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Коротин П.И., Салин Б.М. Морской Автономный Измерительный Комплекс // Системы наблюдения, измерения и контроля в вибро- и гидроакустике / Сб. трудов ИПФ РАН. – Ниж. Новгород: изд. ИПФ РАН, 2002, с. 13-25.
- [2] Салин Б.М., Турчин В.И. Голографическое воспроизведение волновых полей с произвольной зависимостью от времени // Акуст. журн. 1992, т. 38, № 1, с. 150-155.
- [3] Зверев В.А., Коротин П.И., Матвеев А.Л., Митюгов В.В., Орлов Д.А., Салин Б.М., Турчин В.И. Экспериментальные исследования дифракции звука на движущихся неоднородностях в мелководных условиях // Акуст. журн. 2001, т. 47, № 2, с.227-237.