



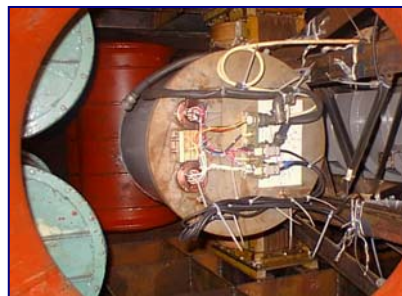
Отличительной чертой исследований, ведущихся в Отделении и в ИПФ РАН в целом, является сочетание фундаментальных и прикладных исследований, нацеленность на практическую реализацию предложенных подходов к решению поставленных научных проблем. Поэтому важнейшей составляющей деятельности Отделения является разработка экспериментальных комплексов и специальной аппаратуры для проведения натуральных и лабораторных экспериментов. Наиболее крупные стенды для проведения лабораторных экспериментов в области гидрофизики представлены выше в разделе **Лабораторное моделирование волновых процессов в верхнем слое океана**. В настоящем разделе представлены уникальные разработки в области низкочастотной гидроакустики и сейсмоакустики, обладающие рекордными характеристиками.

## **АВТОНОМНЫЙ ИЗЛУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ТЕРМОМЕТРИИ ОКЕАНА**

Программа АТОК (АТОС: Acoustic Thermometry of Oceanic Climate), предложенная ведущими американскими специалистами по акустике океана, ставит своей долгосрочной целью реализацию системы дистанционного мониторинга интегральной температуры вод Мирового океана на сверхдлинных акустических трассах. Изменение средней температуры океанических вод тесно связано с глобальными климатическими изменениями и является поэтому важным фактором для составления долгосрочного прогноза климата Земли.

ИПФ РАН принимал участие в двух пилотных российско-американских проектах по программе АТОК в Арктическом бассейне: ТАР (Transarctic Acoustic Propagation) и АСОУС (Arctic Climate Observations using Underwater Sound). В рамках этой программы под руководством Б.Н. Боголюбова был разработан и создан уникальный Автономный излучающий комплекс, предназначенный для апробации прототипа системы долговременного акустического мониторинга температуры арктических вод.

В октябре 1998 года Комплекс был стационарно установлен в Северном Ледовитом океане (в районе Земли Франца-Иосифа) на глубину 60 м. Автономная приемная антенна была создана и установлена американскими коллегами в море Линкольна у северного побережья Канады на расстоянии 1250 км от излучателя. Согласно программе эксперимента АСОУС, Автономный комплекс излучал сигналы специального вида для реализации схемы временной селекции импульсов, распространяющихся по разным модам арктического ПЗК, в приемной антенне. Излучаемый сигнал состоял из 10 периодов 255-битной М-последовательности, модулирующей по фазе сигнал на несущей частоте 20.5 Гц (каждый бит состоял из 10 периодов несущей частоты, длительность всего сигнала составляла 20.7 мин). Синхронизация сигнальных посылок контролировалась рубидиевыми часами (установленными внутри Комплекса), что позволило с исключительной точностью контролировать изменения временных задержек модовых импульсов по трассе распространения сигнала и тем самым провести реконструкцию океанологических характеристик вдоль трассы.



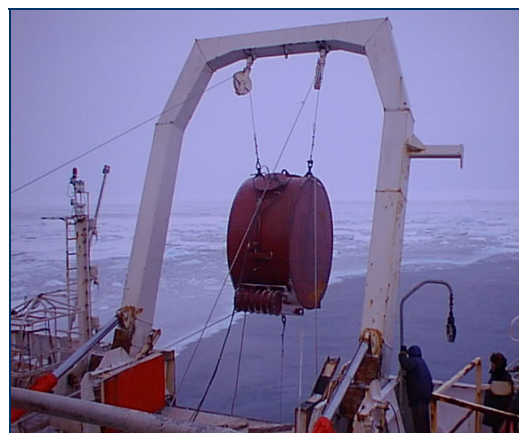
*Внешний вид Автономного излучающего комплекса ИГФ РАН на палубе НИС «Академик Федоров» перед установкой (слева), контейнер с силовой электроникой и коммутационная панель (справа сверху) и контейнер с электроникой управления (справа внизу), установленные внутри Комплекса*

### Параметры механической колебательной системы излучателя

Внешний радиус механической колебательной системы	1235 мм
Радиус жесткой части колебательной системы (пистона)	800 мм
Присоединенная масса воды (для одной стороны излучателя)	7000 кг
Эквивалентная площадь излучения (для одной стороны излучателя)	3.32 м <sup>2</sup>
Амплитуда колебаний, при которой достигается уровень излучения 195 дБ	0.9 мм

### Параметры Автономного излучающего комплекса

Резонансная частота, Гц	20.49
Уровень выходной мощности, дБ	195 ± 0.25
Пиковая выходная мощность, дБ	203
Относительная полоса частот, %	16
Продолжительность автономной работы, месяцев	26
Долговременная временная нестабильность излучаемого сигнала	10 <sup>-11</sup>
Общее число импульсов излучения	340
Глубина погружения излучающего комплекса, м	< 150
Горизонтальное смещение излучающего комплекса, м	± 3



*Постановка излучающего комплекса в Арктике с борта НИС «Академик Федоров» (октябрь 1998 г.)*

По окончании эксперимента ACOUS в марте 2001 г. было установлено, что Комплекс регулярно передавал сигналы по заданной программе в течение 14 мес. и в общей сложности передал 107 сигналов. Это позволило реализовать цели данного эксперимента и получить уникальные данные о сезонных и климатических вариациях состояния арктических вод.

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «НЕВА – ИПФ»**

Комплекс разработан и создан для измерения гидроакустического поля и получил название «Нева-ИПФ». Целевое назначение Комплекса – измерение уровня подводного шума (УПШ) кораблей на мелководных полигонах в присутствии шумов ближнего судоходства.

Комплекс разработан на базе горизонтальной многоэлементной приемной антенны, фокусируемой на контролируемый объект, что обеспечивает измерения объектов с уровнями подводного шума ниже фона акустических шумов моря.

Характеристики Комплекса:

- рабочий диапазон частот – 5 Гц ... 10 кГц;
- диапазон измерений УПШ – от 30 до 120 дБ отн. 20 мкПа;
- апертура приемной антенны – 30 м;
- количество гидрофонов в антенне – 29;
- гидрофоны на цифровом принципе обработки и цифровая передача данных на судно обеспечения в реальном времени;
- чувствительность гидрофонов – 25 мВ/Па;
- рабочие глубины полигона – 30 ... 150 м;
- удаление подводного устройства от судна обеспечения – до 1000 м;
- акустический маяк наведения корабля на подводное устройство и контроль траектории движения корабля на рабочем галсе;
- бортовой корабельный пост на базе компьютерных средств обработки и архивирования;
- измерение УПШ ниже фоновой акустической помехи полигона до 15 дБ.



*Управляющий компьютер Комплекса*



Вспомогательные функции Комплекса включают:

- определение зон повышенного шумоизлучения на объекте;
- определение уровня дальнего поля;
- оценка уровня вторичного гидроакустического поля;
- поиск источников шума на стояночных режимах.

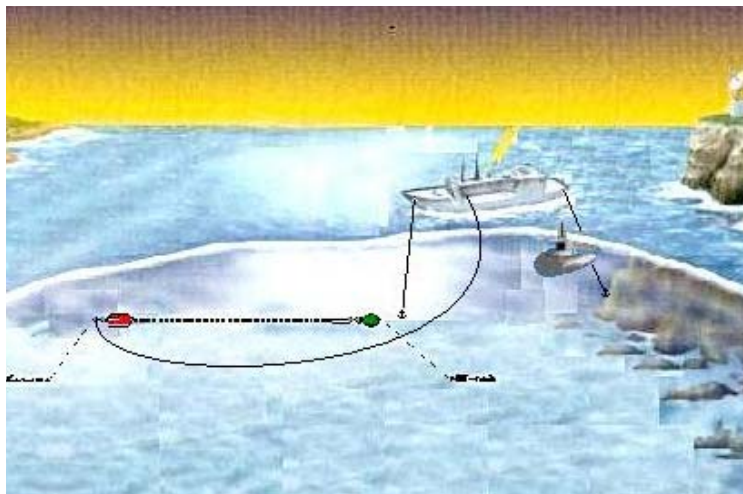


Схема постановки Комплекса на полигоне



Гермоконтейнер и приемная антенна

В 2004 году комплекс «Нева-ИПФ» и средства его метрологического обеспечения сертифицированы как средства измерений военного назначения. Цифровой гидроакустический приемник (ЦГП-3), созданный для кабельной приемной системы, и установки для поверки комплекса внесены в «Государственный реестр средств измерений».

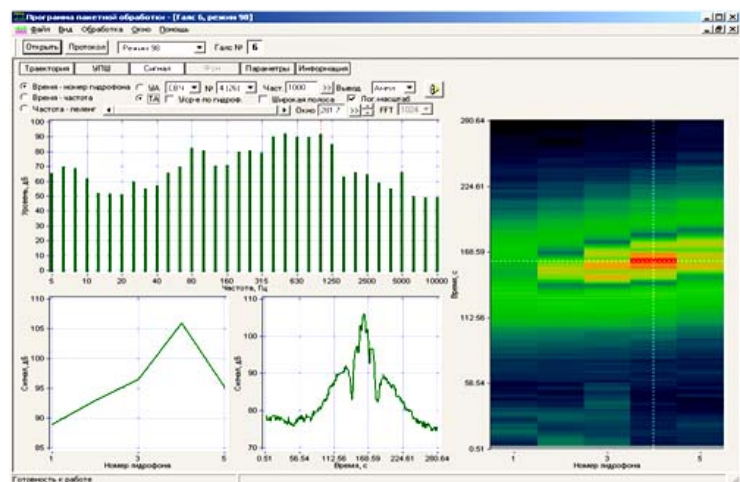
В 2005 году Комплекс был разработан и прошел натурные испытания в новой модификации на базе вертикальной антенны.



ЦГП-3

датчик глубины

Приемная антенна

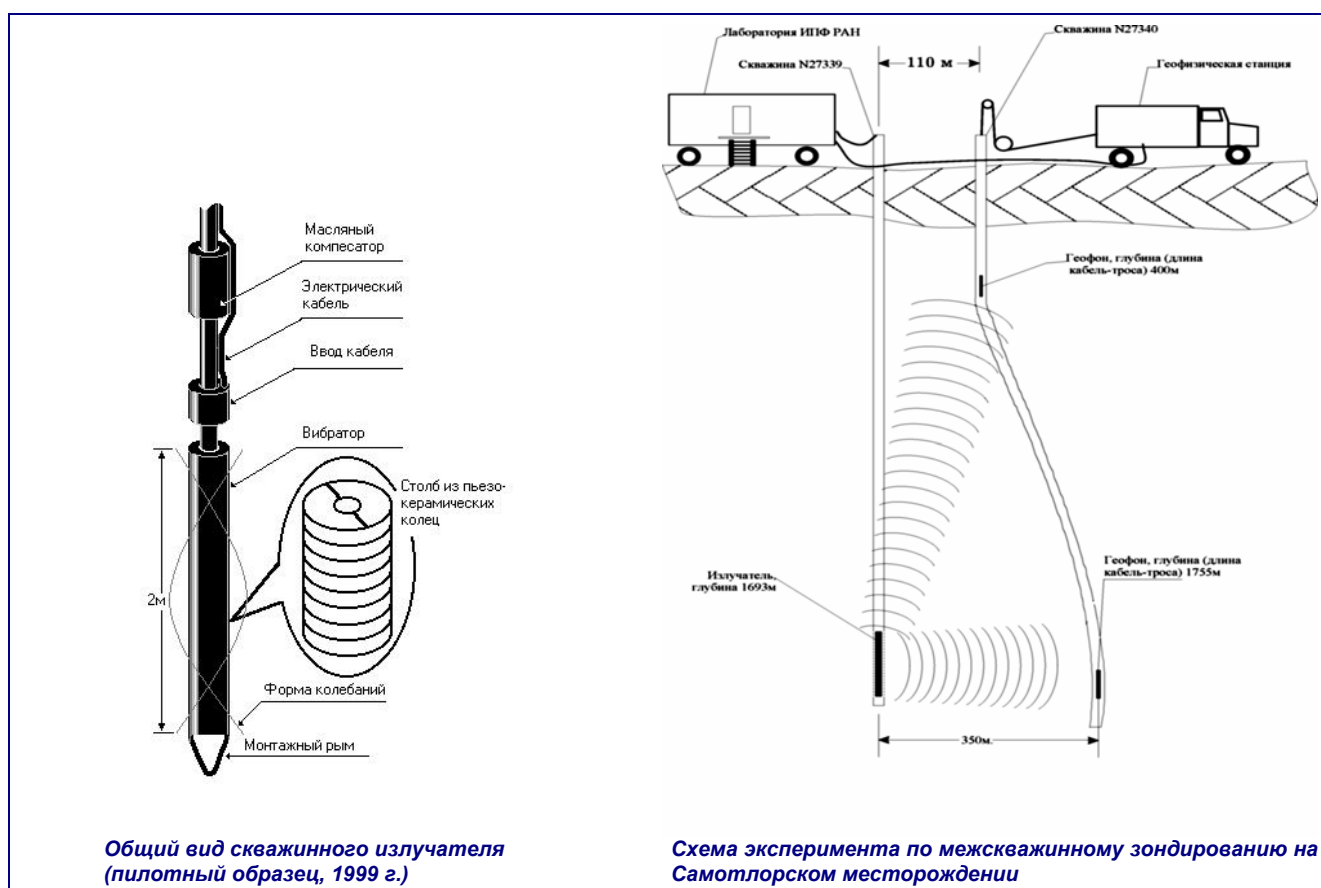


Меню режима оперативной обработки сигналов

## СКВАЖИННЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ

В течение ряда последних лет в Отделении разработан, изготовлен и испытан в натуральных условиях принципиально новый пьезокерамический излучатель поперечных сейсмических волн в диапазоне частот 50-300 Гц. Излучатель предназначен для осуществления интенсивного виброакустического воздействия на нефтяную залежь с целью увеличения ее производительности и проведения работ по межскважинному зондированию месторождений. Высокая временная стабильность и возможность излучения частотно- и фазомодулированных импульсных сигналов позволяет использовать различные режимы формирования зондирующих сигналов и соответствующих методов их накопления и обработки в приемной системе.

Основой излучателя является столб, составленный из специальным образом секционированных и коммутированных пьезокерамических колец, который совершает изгибные колебания и вызывает вибрацию обсадной колонны скважины, что приводит к излучению в окружающее пространство поперечных сейсмических волн. Успешные испытания нового излучателя были проведены на Самотлорском нефтяном месторождении в 1999 году при глубине погружения в скважину около 1700 м и уровне излучаемой мощности в несколько кВт [1]. После проведения двухнедельных испытаний зафиксированы устойчивая нефтеотдача рабочей скважины и реакция окружающих нефтедобывающих скважин, расположенных на расстоянии до 3 км (коэффициент реагирования составил 64 %). Результирующий эффект, заключающийся в увеличении объема добываемого флюида и уменьшения его обводненности, составил более 6652 т чистой нефти за период наблюдения 5 мес.



Во время испытаний на Самотлорском месторождении были выполнены также тестовые эксперименты по межскважинному зондированию, показавшие возможность когерентного накопления фазомодулированных сигналов в виде  $M$ -последовательности, принимаемых в одной из соседних скважин на расстоянии (по горизонту) 350 м. В результате обработки таких сигналов удалось выделить и идентифицировать импульсные приходы для различных типов волн и корректно оценить скорости их распространения в среде [2]. Дальнейшие перспективы натуральных исследований возможностей нового скважинного излучателя в условиях месторождений определяются развитием сотрудничества с заинтересованными нефтяными компаниями.



Спуск излучателя в скважину на сейсмо-акустическом полигоне ИПФ РАН

В настоящее время конструкция и технология изготовления скважинного излучателя значительно усовершенствованы, для чего была использована, в частности, современная технология инженерного анализа на базе пакета конечно-элементного моделирования ANSYS. Наиболее важная модификация излучателя заключается в секционировании рабочего пьезокерамического столба с целью возбуждения изгибных колебаний на различных модах, что дает дополнительные возможности по согласованию параметров излучателя с окружающей средой и управлению пространственно-частотными характеристиками сейсмического поля.

Результаты полевых испытаний на сейсмоакустическом полигоне ИПФ РАН (пос. Безводное Нижегородской обл.) подтвердили высокую эффективность предложенных конструктивных решений и расчетные значения рабочих характеристик излучателя. Эксперимент показал, что излучатель обеспечивает генерацию сигналов сдвиговых волн в диапазоне частот от 40 до 400 Гц как на резонансных частотах отдельных мод, так и в относительно широких частотных полосах в верхней части данного диапазона при достигнутой мощности излучения  $\sim 1$  кВт и к.п.д. 60 %. Это позволяет обоснованно надеяться на возможность «озвучивания» производительных пластов месторождений на расстояния  $\sim 1$  км и более, что является принципиально новым шагом в разработке эффективных средств межскважинного зондирования.

### ИЗБРАННЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

- [1] Бриллиант Л.С., Боголюбов Б.Н., Цыкин И.В., Лобанов В.Н., Новиков В.Ф., Морозов В.Ю., Потапов Г.А., Рамазанов Д.Ш., Сашнев И.А. Опытно-промышленные испытания мощного низкочастотного излучателя для интенсификации добычи нефти // *Нефтяное хозяйство*, 2000, № 9, с. 86.
- [2] Боголюбов Б.Н., Лобанов В.Н., Рылов В.И., Стромков А.А., Таланов В.И. Использование когерентных сложных и тональных сигналов при межскважинном акустическом зондировании // *Препринт ИПФ РАН* № 550. – Ниж. Новгород: ИПФ РАН, 2000. 19 стр.
- [3] Авербах В.С., Артельный В.В., Боголюбов Б.Н., Вировлянский А.Л., Малеханов А.И., Марышев А.П., Таланов В.И. Мощный внутрискважинный источник сдвиговых волн для когерентной сейсмоакустики // *Акуст. журн.*, 2005, т. 51, Приложение, с. 31-45.





**Институт прикладной физики РАН  
Отделение гидрофизики и гидроакустики**

603950 г. Нижний Новгород, ГСП-120, ул. Ульянова, 46

тел.: (8312) 36 2529

факс: (8312) 36 5976

E-mail:

[director@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:director@hydro.appl.sci-nnov.ru)

*(директор Отделения А.Г. Лучинин)*

[i.soustova@hydro.appl.sci-nnov.ru](mailto:i.soustova@hydro.appl.sci-nnov.ru)

*(ученый секретарь Отделения И.А. Соустова)*

Web-site:

[www.iapras.ru](http://www.iapras.ru)

**Буклет Отделения гидрофизики и гидроакустики  
Института прикладной физики РАН**

***Подготовка материалов:***

А.А. Абрашкин, В.В. Баханов, И.Б. Бурлакова, А.Л. Вировлянский,  
И.И. Диденкулова, Л.С. Долин, С.А. Ермаков, В.Ю. Зайцев,  
П.И. Коротин, А.В. Лебедев, А.И. Малеханов, Д.А. Сергеев,  
И.А. Соустова, Ю.И. Троицкая, А.И. Хилько

***Общая редакция:***

А.И. Малеханов

***Дизайн-макет и верстка:***

С.В. Кротова

**Декабрь, 2005 год**