

# РЕГИСТРАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ

**В.А. Чупин, Г.И. Долгих, С.Г. Долгих, В.В. Овчаренко, А.А. Пивоваров,  
А.Н. Самченко, В.А. Швец, А.Н. Швырев, С.В. Яковенко, И.О. Ярошук**

Исследование возможности регистрации источника гидроакустического возмущения системой пространственно-разнесенных береговых лазерных деформографов (ЛД) является актуальной задачей, решение которой позволяет установить характеристики низкочастотных гидроакустических сигналов, регистрируемых ЛД. Приведены состав и характеристики отдельных устройств экспериментального комплекса, созданного на полуострове Гамова. В экспериментальный комплекс вошли береговые лазерные деформографы стационарного и мобильного вариантов исполнения и низкочастотные гидроакустические излучающие системы. Описана методика проведения экспериментальных работ, позволяющая исследовать возможность приема сигнала на разном удалении от приемных систем, в том числе и при перекрытии трассы распространения сигнала суши. По результатам эксперимента подтверждено, что лазерные деформографы стабильно регистрируют сигналы от источников гидроакустических колебаний. Приведены сравнительные результаты регистрации сигналов, принятых лазерными деформографами при работе излучателя на каждой из станций. Полученные результаты показывают возможность контроля источника гидроакустического излучения при его перемещении по контролируемой акватории. При этом контроль может осуществляться совмещением двух разных методов измерения: пространственно-разнесенными ЛД и амплитудной модуляцией сигнала разнонаправленных компонент ЛД. Полученные результаты показали перспективность применения системы ЛД для регистрации источников низкочастотного гидроакустического излучения вдоль побережья шельфовых зон.

**Ключевые слова:** мобильный деформограф, пространственно-разнесенные, гидроакустическое излучение

## Введение

Практическое решение задач обнаружения и мониторинга проявлений различных природных процессов и событий антропогенного фактора давно выполняется в ТОИ ДВО РАН с применением комплекса измерительных систем, использующих лазерно-интерференционные методы. Регистрация и изучение источников гидроакустических колебаний производится береговыми лазерными деформографами. Первые данные о регистрации и возможности исследования источника геосферных возмущений были получены еще в 1983 году [1], когда был приведен результат регистрации сейсмических волн, возбуждаемых на границе геосфер движущимся судном.

Дальнейшие экспериментальные работы показали, что в рабочем диапазоне ЛД регулярно появляются максимумы в области низких частот, возбуждаемые различными источниками гидроакустического излучения, находящимися в близлежащей акватории моря. Проводимые работы по исследованию трансформации гидроакустических колебаний [2] показали, что в шельфовой области моря низкочастотные гидроакустические колебания с глубин менее половины длины волны в основном распространяются в виде поверхностных волн рэлеевского типа по границам разделов «вода–земная кора» и «земная кора–воздух». При этом поляризационные свойства волн рэлеевского типа позволяют системой лазерных деформографов наблюдать положение источника из-

лучения в пространстве. Как показали дальнейшие исследования [3], береговой измерительный комплекс лазерных деформографов позволяет уверенно регистрировать достаточно далекие объекты гидроакустического излучения и также наблюдать динамику перемещения этих объектов. Таким образом, при исследовании перспективности подобных методов регистрации источников гидроакустического излучения в прилегающей акватории, проведены экспериментальные работы по изучению возможности регистрации гидроакустического сигнала системой пространственно-разнесенных береговых ЛД.

### ■ Экспериментальный комплекс

Для регистрации сейсмоакустических сигналов был задействован береговой двухкоординатный ЛД, расположенный на морской экспериментальной станции мыс Шульца ТОИ ДВО РАН в области с центральной координатой  $42^{\circ}34'48''$  СШ и  $131^{\circ}9'24''$  ВД [4] и мобильный ЛД [5, 6]. Двухкоординатный (ДЛД) находится в подземных помещениях и состоит из двух практически ортогональных друг к другу лазерных деформографов неравноплечего типа, один из которых имеет длину измерительного плеча 52,5 м (С-Ю), ориентированного под углом  $18^{\circ}$  относительно меридиана, а второй деформограф с длиной измерительного плеча 17,5 м (З-В), ориентированный под углом  $110^{\circ}$  относительно меридиана. Мобильный (МЛД) был установлен в прибрежной области на скальном основании в крайней точке мыса Гамова, имеющей координаты  $42^{\circ}33'17''$  СШ и  $131^{\circ}13'3''$  ВД. Ориентировка плеча мобильного деформографа составила  $40^{\circ}$  к линии меридиана. На рис. 1 показан МЛД, установленный на территории маяка Гамова для проведения эксперимента. МЛД построен по принципу неравноплечего интерферометра Майкельсона, как и стационарные деформографы, и имеет длину измерительного плеча 6 м. На вставке в левой части рисунка показана оптическая часть деформографа. Скамья с оптической частью была жестко закреплена в скальной породе. Отражатель смонтирован на упругом основании. Световод между оптической скамьей и отражателем выполнен из полипропиленовых труб. Все элементы системы изолированы специальными материалами для исключения мгновенного воздействия на показания прибора факторов окружающей среды. Расстояние между лазерными деформографами составило 5,74 км.

Для генерации тональных и сложных гидроакустических сигналов применялись две однотипные низкочастотные излучающие системы ГИ-1 [4] и



Рис. 1. МЛД в рабочем режиме на мыс Гамова

ГИ-2 [7]. Гидроакустическая система ГИ-2 предназначена для генерации длительных тональных и фазоманипулированных сигналов в полосе частот порядка 1 Гц при центральной частоте полосы в диапазоне 19–26 Гц (в зависимости от глубины погружения излучателя). Внешний вид излучающей гидроакустической системы приведен на рис. 2. В состав системы входят: излучатель с электромагнитным преобразователем, рама для подвеса излучателя, кабель-шланг с контрольным манометром, источник электропитания, электронасос, контрольный гидрофон, два калибровочных акселерометра. Излучатель является достаточно массивным оборудованием и имеет вес 260 кг. В качестве первичных источников постоянного тока используется система последовательно соединенных аккумуляторов. В результате серии испытательных экспериментов количество питающих аккумуляторов составило 14 штук.

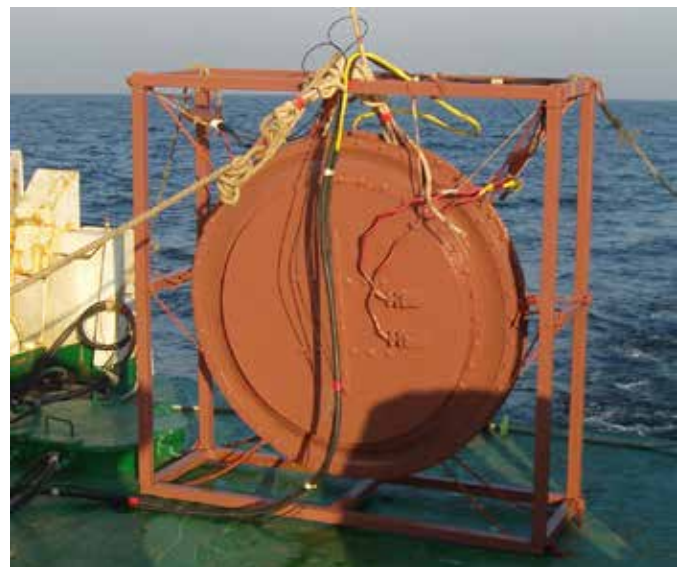


Рис. 2. Внешний вид гидроакустической излучающей системы 19–26 Гц

Процесс подготовки излучателя к рабочему положению на глубине тщательно контролируется в течение всего времени погружения. В полости излучателя постоянно поддерживается давление воздуха ниже внешнего гидростатического, для чего используются показания глубиномера и манометра. При погружении излучателя на глубину от 2 до 40 м частота механико-акустического резонанса плавно возрастает от 19 до 26 Гц. Рабочими являются частоты вблизи резонансной. В результате работы с излучателем было установлено, что давление, создаваемое излучателем, составляет 11 кПа [3].

Излучающая система ГИ-1 предназначена для работ на глубинах от 2 до 25 м. Генерация гидроакустического сигнала происходит на частоте 33 Гц. Электропитание излучателя осуществляется системой последовательно соединенных аккумуляторов в количестве 6 штук. При обычном его использовании, как показывают результаты измерения контрольным гидрофоном, излучатель ГИ-1 создает давление в 10 раз меньше, чем излучатель ГИ-2, и обычно составляет 1, 2 кПа.

Синхронизация измерительных систем выполнялась посредством подключения к записывающим

компьютерам внешних двухсистемных приемников GlobalSat Glonass, синхронизирующих записывающую аппаратуру один раз в секунду.

### ■ Методика проведения эксперимента

При разработке плана экспериментальных работ было принято во внимание пространственное расположение береговых измерительных устройств. Так как основным измерительным устройством в эксперименте являлся двухкоординатный береговой ЛД, то расположение станций гидроакустического излучения определялось относительно его местоположения. Были выбраны 4 станции излучения, находящиеся на расстоянии 10 км от деформографа в соответствии с диаграммой направленности его главной 52,5-метровой измерительной компоненты. Общая схема эксперимента приведена на рис. 3.

Координаты станций излучения и расстояние от измерительных систем приведены в табл. 1.

В дни проведения эксперимента лазерные деформографы работали в режиме непрерывного измерения. Судно приходило в точку измерения и ложилось в дрейф. Работа с излучателями проводилась в соот-

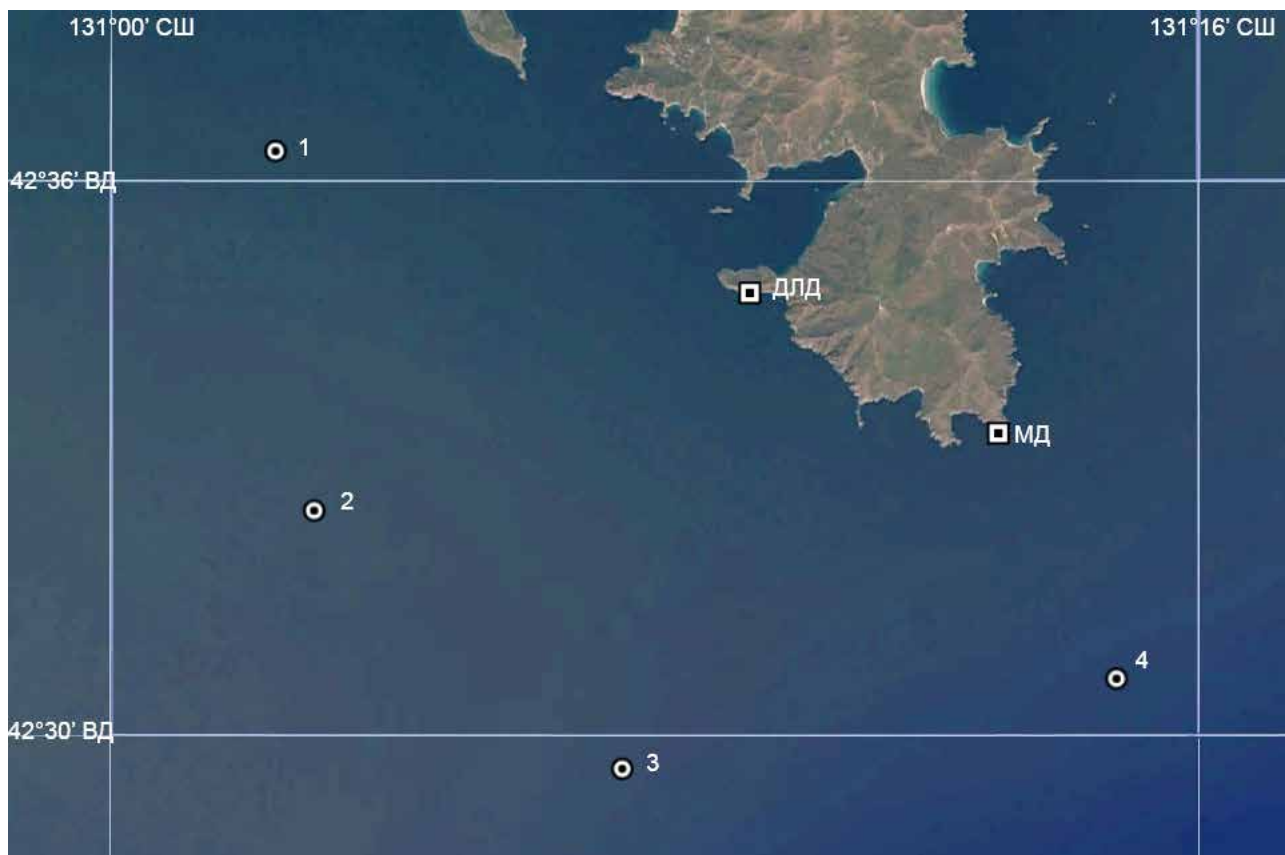


Рис. 3. Схема проведения эксперимента

Таблица 1. Координаты станций излучения и расстояние от лазерных деформографов

№ станции	Координаты станций излучения	Расстояние от ДЛД, км	Расстояние от МД, км
1	42° 36' 20,3" СШ; 131° 2' 25,3" ВД	10	16,5
2	42° 32' 26,9" СШ; 131° 2' 59,9" ВД	10	13,5
3	42° 29' 39,4" СШ; 131° 7' 31,7" ВД	10	10
4	42° 30' 37,9" СШ; 131° 14' 47,3" ВД	10	5,5

ветствии с методикой их применения, которая отрабатывалась несколько лет. В соответствии с теорией акустической мощности приповерхностного источника, утверждающей [8], что при малом заглублении источника его поле соответствует полю диполя и амплитуда звукового давления тем меньше, чем меньше глубина расположения излучателя. Поэтому при характеристиках гидроакустического излучателя ГИ-2 выбранная глубина погружения излучателя составляет 18 м, при этом его резонансная частота составляет 22 Гц. Максимальная излучающая мощность излучателя ГИ-1 на частоте 33 Гц соответствуют глубине погружения 15 м. При работе излучатель и противофазный ему мнимый источник совместно образуют антенну, минимум характеристики направленности которой лежит в горизонтальной плоскости, а максимум направлен вниз.

## ■ Результаты эксперимента

Экспериментальные работы были проведены в октябре 2015 г. При проведении работ на каждой из четырех станций применялась описанная методика излучения.

При работе на станции излучатель ГИ-2 заглублялся на установленную глубину 18 м и выполнял излучение гидроакустического сигнала, имеющего следующую форму: тональное излучение сигнала – 300 с, пауза 30 с, излучение М-последовательности 319 с. Общая продолжительность излучаемого сигнала составляла 649 с. Прием сигнала с каждой станции был уверенно выполнен всеми измерительными системами.

На рис. 4 показаны динамические спектрограммы лазерных деформографов, расположенных на м. Шульца, и мобильного деформографа, развернутого на м. Гамова при работе гидроакустического излучателя на станции 1. На спектрограммах всех деформографов присутствуют приходящие сигналы – как тональный, так и фазоманипулированные с паузами между ними. При анализе сигнала с других станций излучения на динамической спектрограмме мобильного лазерного деформографа принимаемый сигнал проявляется крайне слабо в связи с высокой шум-

ленностью частотного диапазона, в котором работает гидроакустический излучатель. Тем не менее пики сигналов при спектральном анализе отдельных участков стабильно присутствуют в течение всего времени гидроакустического излучения.

Проведем анализ записей деформографов при работе излучателя на всех станциях излучения и представим сравнительную таблицу с величинами амплитуды сигнала, регистрируемого лазерными деформографами. С учетом того, что участок излучения тонального сигнала составляет 300 с, для исследования возьмем одинаковые участки записи лазерных деформографов длиной 50000 отсчетов. При частоте дискретизации данных 1000 Гц длительность такого участка записи равна 70 с.

На рис. 5 приведены спектры записи соответствующих участков лазерных деформографов, находящихся на м. Шульца, и мобильного лазерного деформографа при работе гидроакустического излучателя ГИ-2 на станции 1.

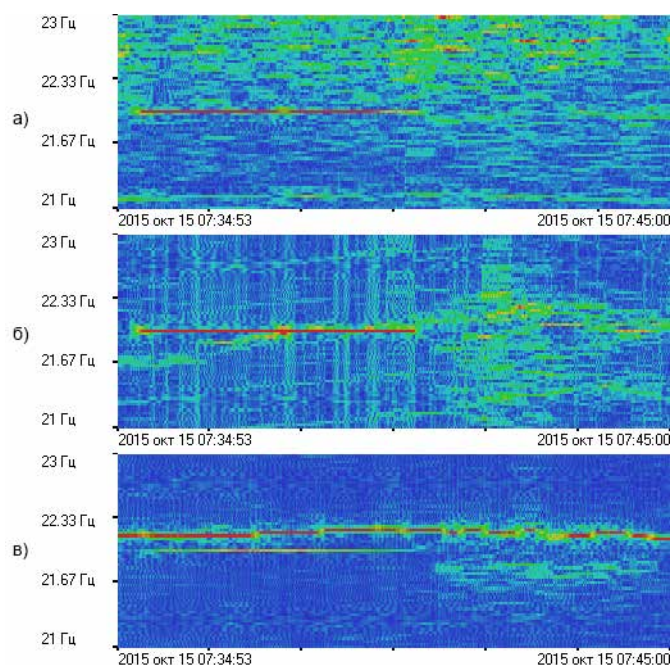


Рис. 4. Динамические спектрограммы лазерных деформографов при работе гидроакустического излучателя на ст. 1: а – 52,5 м, СЮ, б – 17,5 м, ЗВ, в – мобильный

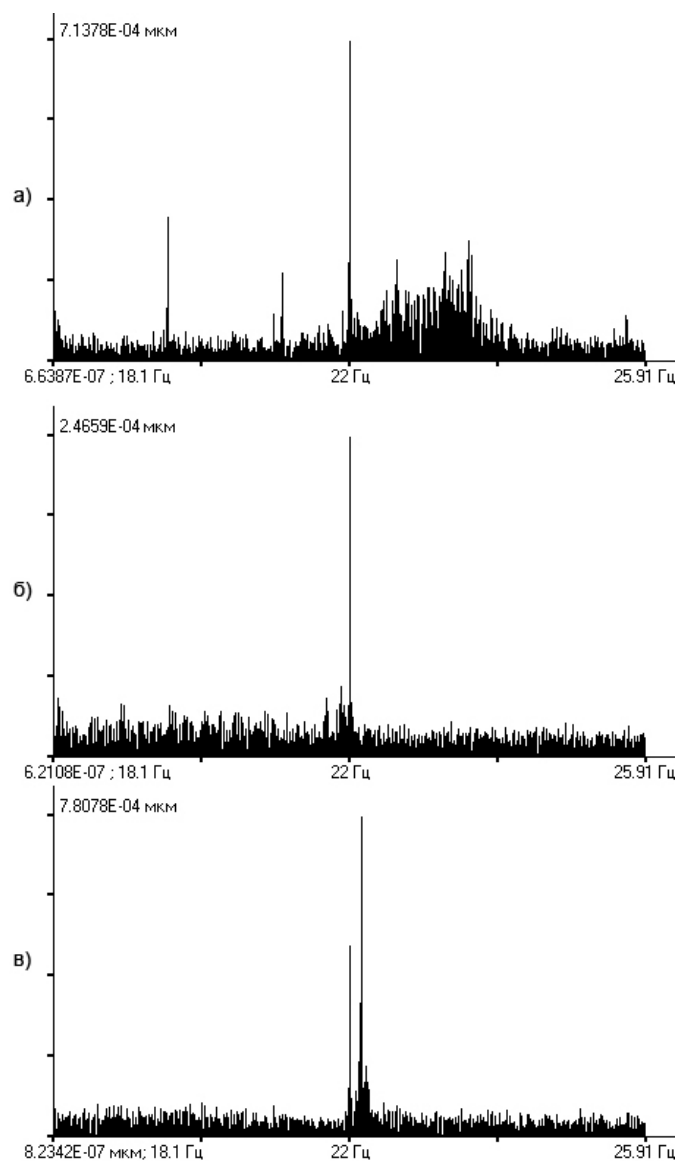


Рис. 5. Спектры, полученные при обработке синхронных участков записи лазерных деформографов: а – 52,5 м, СЮ, б – 17,5 м, ЗВ, в – мобильный

В табл. 2 приведены сводные результаты величины амплитуды сейсмоакустического сигнала, регистрируемого лазерными деформографами в результате работы на станциях источника низкочастотного гидроакустического излучения.

По результатам приема береговыми лазерными деформографами сигналов, генерируемых гидроакустическим излучателем ГИ-2, показано, что метод регистрации источника гидроакустического излучения системой пространственно-разнесенных береговых лазерных деформографов реализуем и при соответствующих доработках имеет значительные перспективы. По результатам, представленным в табл. 2, хорошо видно, что величина амплитуды сигнала, регистрируемая мобильным лазерным деформогра-

Таблица 2. Величины амплитуды принимаемого сигнала лазерными деформографами при работе излучателя ГИ-2 на станциях 1–4

№ ст.	Амплитуда СЮ, нм	Амплитуда ЗВ, нм	Амплитуда МД, нм
1	0,713	0,246	0,463
2	0,872	0,218	0,761
3	1,36	0,132	1,429
4	1,00	0,194	2,84

фом увеличивается по мере приближения станций излучения к местоположению мобильного деформографа. В то же время станции излучения находились на одинаковом расстоянии от стационарного измерительного комплекса ДЛД. Вариации амплитуды принятого сигнала в данном случае зависят от пространственного положения измерительных осей лазерных деформографов, характеризующихся разными диаграммами направленности. Измерение разнонаправленными лазерными деформографами основано на принципе поляризации сейсмоакустических сигналов, трансформирующихся из гидроакустических сигналов. Значения амплитуды принятого сигнала, указанного в табл. 2, также подтверждают изменение местоположения источника гидроакустического сигнала в соответствии с данной теорией

Работы с гидроакустическим излучателем ГИ-1 были проведены вторым этапом на станции излучения № 3. Излучение проводилось с погружением излучателя на глубину 9 м и 15 м для исследования излучаемой мощности. На рис. 6 приведены динамические спектрограммы лазерного 52,5-метрового деформографа СЮ и мобильного лазерного деформографа при работе ГИ-1 на станции 23, равноудаленной от обоих лазерных деформографов.

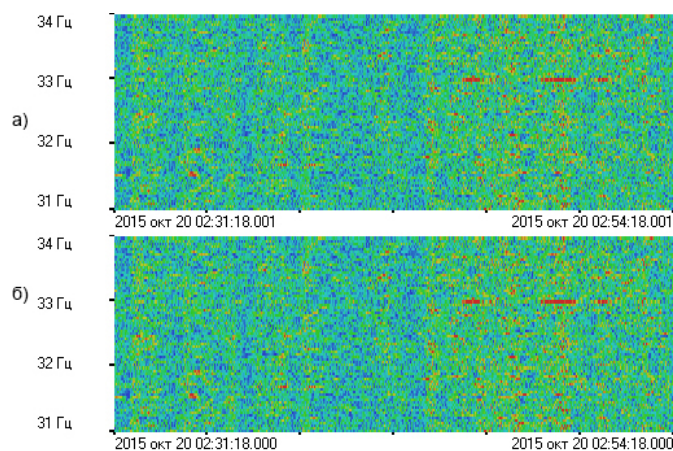


Рис. 6. Динамическая спектрограмма при работе излучателя ГИ-1 на ст. 3: а – 52,5 м, СЮ, б – мобильный

Излучения сигнала при глубине погружения излучателя 9 м проводилось в 02:31 UTC, излучение на глубине погружения 15 м было выполнено начиная с 02:47 UTC. В зависимости относительной излучаемой мощности точечного источника с частотой излучения 33 Гц от его заглубления [8] мощность излучения на глубине 9 м почти в два раза ниже. В записях лазерных деформографов при этой глубине работы излучателя сигнал не регистрируется. При работе излучателя на глубине 15 м амплитуда сигнала, записанного мобильным деформографом, составила 0,236 нм, а деформографом СЮ – 0,246 нм. Полученные результаты на порядок меньше, чем при работе системы ГИ-2, что подтверждает характеристики излучающих систем.

## Выводы

На синхронных записях лазерных деформографов, разнесенных в пространстве по побережью Приморского края, были выделены пакеты гидроакустических сигналов, возбуждаемых источниками

низкочастотного гидроакустического излучения в шельфовой области Японского моря. Получены экспериментальные величины амплитуд сейсмоакустических сигналов, генерируемых на разных частотах, регистрируемых лазерными деформографами. Данные результаты показывают возможность контроля источника гидроакустического излучения при его перемещении по контролируемой акватории. При этом контроль может осуществляться совмещением двух разных методов измерения: 1) метод пространственно-разнесенных лазерных деформографов; 2) метод амплитудной модуляции сигнала разнонаправленных компонент лазерных деформографов. Полученные результаты показали перспективность применения системы лазерных деформографов для регистрации источников низкочастотного гидроакустического излучения вдоль побережья шельфовых зон.

Работа выполнена в рамках выполнения темы государственного задания (№ ААА-А-А20-120021990003-3) «Изучение фундаментальных основ возникновения, развития, трансформации и взаимодействия гидроакустических, гидрофизических и геофизических полей Мирового океана».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Г.И., Копвиллем У.Х., Павлов А.Н. Наблюдение периодов собственных колебаний Земли лазерным деформометром // Изв. АН СССР. Физ. Земли. 1983. №2. С.15–20.
2. Долгих Г.И., Чупин В.А. Экспериментальная оценка преобразования гидроакустического излучения в сейсмоакустическую волну // Акуст. журн. 2005. Т. 51, №5. С.628–632.
3. Чупин В.А., Бородин А.Е., Долгих Г.И. Регистрация двухосевым лазерным деформографом сейсмоакустических сигналов, создаваемых гидроакустическими источниками // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2015. Т. 8, № 4. С. 55–60.
4. Чупин В.А., Будрин С.С., Долгих Г.И., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырёв А.Н., Ярошук И.О. Сезонная зависимость коэффициента трансформации гидроакустических волн в сейсмоакустические волны на границе «вода-дно» // Подводные исследования и робототехника. 2015. № 2 (20). С. 35–39.
5. Долгих С.Г., Долгих Г.И., Чупин В.А., Яковенко С.В. Применение мобильного лазерного деформографа // Фотоника. 2016. № 6. С. 82–87.
6. Чупин В.А., Будрин С.С., Долгих Г.И., Долгих С.Г., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швец В.А., Швырёв А.Н., Яковенко С.В., Ярошук И.О. Разработка методики томографии морского дна для акваторий, покрытых льдом. Первый эксперимент // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 1 (23). С. 62–67.
7. Долгих Г.И., Долгих С.Г., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швырёв А.Н., Чупин В.А., Яковенко С.В., Ярошук И.О. Излучающая гидроакустическая система на частотах 19–26 Гц // Приборы и техника эксперимента. 2017. № 4. С. 137–141.
8. Свердлин Г.М. Прикладная гидроакустика. Л.: Судостроение, 1990. 320 с.

### Для цитирования:

Чупин В.А., Долгих Г.И., Долгих С.Г., Овчаренко В.В., Пивоваров А.А., Самченко А.Н., Швец В.А., Швырёв А.Н., Яковенко С.В., Ярошук И.О. РЕГИСТРАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДЕФОРМОГРАФОВ // Подводные исследования и робототехника. 2022. №. 4 (42). С. 62–70. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_42\_04\_06. EDN: KZMHVZ.



## Об авторах

**ЧУПИН Владимир Александрович**, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** сейсмоакустика, волновые процессы в океане, взаимодействие атмосферы и океана, крупномасштабные и синоптические процессы в океане.

Тел.: +79147908143

E-mail: chupin@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0001-5103-8138

**ДОЛГИХ Григорий Иванович**, д.ф.-м.н., академик РАН, профессор, директор

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** физика геосфер, нанотехнологии, изучение физики возникновения, развития и трансформации геосферных процессов инфразвукового и звукового диапазонов, разработка и создание аппаратно-программных лазерно-интерференционных систем для исследования вариаций основных параметров геосфер с наноразрешением

Тел.: +7(423)2-311-400

E-mail: dolgikh@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-2806-3834

**ДОЛГИХ Станислав Григорьевич**, к.ф.-м.н., в.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** геофизика, физика океана, сейсмика, океанология, волновые процессы мирового океана, взаимодействие геосфер, лазерная деформография.

Тел.: +7(423)2-312-598

E-mail: sdolgikh@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0001-9828-5929

**ОВЧАРЕНКО Владимир Владимирович**, к.ф.-м.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** взаимодействие геосфер, лазерная деформография.

Тел.: +7(423)2-312-598

E-mail: ovcharenko@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0001-7784-2140

**ПИВОВАРОВ Александр Александрович**, н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** низкочастотная гидроакустика, сейсмоакустика, геоморфология шельфа и прибрежной зоны.

Тел.: +7(423)2-312-617

E-mail: pivovarov@poi.dvo.ru

**САМЧЕНКО Александр Николаевич**, к.г.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** геоакустическое моделирование, низкочастотная гидроакустика, сейсмоакустика, геоморфология шельфа и прибрежной зоны

Тел.: +7(423)2-312-617

E-mail: samchenko.an@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-5184-0718

**ШВЕЦ Вячеслав Александрович**, к.т.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** изучение физики возникновения, развития и трансформации геосферных процессов инфразвукового и звукового диапазонов, разработка, моделирование и создание лазерно-интерференционного оборудования для исследования вариаций основных параметров геосфер.

Тел.: +7(423)2-312-598

E-mail: vshv@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-4752-6865

**ШВЫРЕВ Алексей Николаевич**, к.ф.-м.н., с.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** геоакустическое моделирование, низкочастотная гидроакустика, сейсмоакустика, геоморфология шельфа и прибрежной зоны

Тел.: +7(423)2-312-617

E-mail: shvyrev@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-5184-0718

**ЯКОВЕНКО Сергей Владимирович**, к.т.н., в.н.с.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** Изучение физики возникновения, развития и трансформации геосферных процессов инфразвукового и звукового диапазонов. Разработка, моделирование и создание лазерно-интерференционного оборудования для исследования вариаций основных параметров геосфер.

Тел.: +7(423)2-312-598

E-mail: ser\_mail@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0003-3784-9449

**ЯРОЩУК Игорь Олегович**, д.ф.-м.н., доцент, заведующий лабораторией

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева Дальневосточного отделения Российской академии наук

Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43

**Область научных интересов:** геоакустическое моделирование, низкочастотная гидроакустика, сейсмоакустика, геоморфология шельфа и прибрежной зоны

Тел.: +7(423)2-312-617

E-mail: yaroshchuk@poi.dvo.ru

ORCID: 0000-0002-3212-9752

# REGISTRATION OF THE HYDROACOUSTIC RADIATION SOURCES BY A SYSTEM OF SPATIALLY SEPARATED LASER STRAINMETERS

**V.A. Chupin, G.I. Dolgikh, S.G. Dolgikh, V.V. Ovcharenko, A.A. Pivovarov,  
A.N. Samchenko, V.A. Shvets, A.N. Shvyrev, S.V. Yakovenko, I.O. Yaroshchuk**

The relevance of the work is to investigate the possibility of registering the source of hydroacoustic disturbance by a system of spatially spaced coastal laser strainmeters. The article describes the composition and characteristics of individual devices of the experimental complex created on the Gamov Peninsula. The experimental complex includes coastal laser strainmeters of stationary and mobile versions and low-frequency hydroacoustic radiating systems. The experimental procedure is described, which allows investigating the possibility of signal reception at different distances from the receiving systems, including when the signal propagation route is overlapped by land. According to the results of the experiment, it is confirmed that the laser strainmeters stably register signals from the sources of hydroacoustic oscillations. The comparative results of registration of signals adopted by laser strainmeters at operation of the transmitter at each of the stations are presented. The results obtained show the possibility of controlling the hydroacoustic emission source when it moves across the controlled water area. In this case the control can be carried out by combining two different methods of measurement: 1) the method of spatially separated laser strainmeters; 2) the method of amplitude modulation of the signal of differently directed components of laser strainmeters. The results obtained showed the promising application of the system of laser strainmeters for registering the sources of low-frequency hydroacoustic radiation along the coast of the shelf zones.

**Keywords:** laser strainmeter, mobil strainmeter, spatially spaced, hydroacoustic radiation.

## References

1. Dolgikh G.I., Kopvillem U.Kh., Pavlov A.N. Observation of the periods of natural oscillations of the Earth by a laser strainmeter // *Izv. of the Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Solid Earth*. 1983. No. 2. P. 15-20.
2. Dolgikh G.I., Chupin V.A. Experimental estimate for the transformation of underwater acoustic radiation into a seismoacoustic wave // *Acoustical physics*. 2005. Vol. 51. No. 5. P. 538-542.
3. Chupin V.A., Borodin A.E., Dolgikh G.I. Seismoacoustic signals registration by the two-axial laser strainmeter, created by hydroacoustic sources // *Fundamentalnaya i prikladnaya gidrofizika* 2015. Vol. 8. No. 4. P. 55-60.
4. Chupin V.A., Budrin S.S., Dolgikh G.I., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvyrev A.N., Yaroshchuk I.O. Seasonal dependence of transformation coefficient of hydroacoustic in seismoacoustic waves on border "water-bottom" // *Underwater Investigations and Robotics*. 2015. No. 6. P. 82-87.
5. Dolgikh S.G., Dolgikh G.I., Chupin V.A., Yakovenko S.V. Use of mobile laser strainmeter // *Photonics*. 2016. No. 6. P. 82-87.
6. Chupin V.A., Budrin S.S., Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvets V.A., Shvyrev A.N., Yakovenko S.V., Yaroshchuk I.O. Development of bases of creation the technology of the seabed tomography the water areas, covered with ice. The first experiment // *Underwater investigations and robotics*. 2017. No. 1 (23). P. 62-67.
7. Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvyrev A.N., Chupin V.A., Yakovenko S.V., Yaroshchuk I.O. A hydroacoustic system that radiates at frequencies of 19-26 Hz // *Instruments and Experimental Techniques*. 2017. Vol. 60. No. 4. P. 596-599.
8. Sverdlin G.M. *Prikladnaya gidroakustika / L.: Sudostroyeniye*, 1990. 320 p.

### Recommended citation:

Chupin V.A., Dolgikh G.I., Dolgikh S.G., Ovcharenko V.V., Pivovarov A.A., Samchenko A.N., Shvets V.A., Shvyrev A.N., Yakovenko S.V., Yaroshchuk I.O. REGISTRATION OF THE HYDROACOUSTIC RADIATION SOURCES BY A SYSTEM OF SPATIALLY SEPARATED LASER STRAINMETERS. *Underwater investigations and robotics*. 2022. No. 4 (42). P. 62-70. DOI: 10.37102/1992-4429\_2022\_42\_04\_06. EDN: KZMHBZ.





## Author information

**CHUPIN Vladimir A.**, PhD in Physics and Mathematics, Head of the Division

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** seismoacoustics, wave processes in the ocean, atmosphere-ocean interaction, large-scale and synoptic processes in the ocean.

**Phone:** +79147908143

**E-mail:** chupin@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0001-5103-8138

**DOLGIKH Grigory I.**, Doctor of Physics and Mathematics, Academician of RAS, professor, Director

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** physics of geospheres, nanotechnology, study of physics of emergence, development and transformation of geospheric processes of infrasound and sound ranges, development and creation of hardware and software laser-interference systems to study variations of basic parameters of geospheres with nanoscale precision

**Phone:** +7(423)2-311-400

**E-mail:** dolgikh@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-2806-3834

**DOLGIKH Stanislav G.**, PhD in Physics and Mathematics, Leading Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** geophysics, ocean physics, seismics, oceanology, world ocean wave processes, geosphere interaction, laser deformography

**Phone:** +7(423)2-312-598

**E-mail:** sdolgikh@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0001-9828-5929

**OVCHARENKO Vladimir V.**, PhD in Physics and Mathematics, Senior Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** geosphere interaction, laser deformography.

**Phone:** +7(423)2-312-598

**E-mail:** ovcharenko@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0001-7784-2140

**PIVOVAROV Aleksandr A.**, Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** low-frequency hydroacoustics, seismoacoustics, shelf and coastal geomorphology.

**Phone:** +7(423)2-312-617

**E-mail:** pivovarov@poi.dvo.ru

**SAMCHENKO Aleksandr A.**, PhD in Geography, Senior Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** geoacoustic modeling, low-frequency hydroacoustics, seismoacoustics, shelf and coastal geomorphology

**Phone:** +7(423)2-312-617

**E-mail:** samchenko.an@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-5184-0718

**SHVETS Vyacheslav A.**, PhD in Engineering, Senior Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** study the physics of emergence, development and transformation of geospheric processes of infrasound and sound ranges, development, modeling and creation of laser-interference equipment to study variations of basic parameters of geospheres.

**Phone:** +7(423)2-312-598

**E-mail:** vshv@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-4752-6865

**SHVYREV Aleksey N.**, PhD in Physics and Mathematics, Senior Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** geoacoustic modeling, low-frequency hydroacoustics, seismoacoustics, shelf and coastal geomorphology

**Phone:** +7(423)2-312-617

**E-mail:** shvyrev@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-5184-0718

**YAKOVENKO Sergey V.**, PhD in Engineering, Leading Researcher

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute FEB RAS

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** Study of physics of emergence, development and transformation of geospheric processes of infrasound and sound ranges. Development, modeling and creation of laser-interference equipment to study the variations of the main parameters of geospheres.

**Phone:** +7(423)2-312-598

**E-mail:** ser\_mail@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0003-3784-9449

**YAROSHCHUK Igor O.**, Doctor of Physics and Mathematics, Docent, Head of the Division

**Address:** 43, Baltiyskaya Street, Vladivostok, 690041, Russia

**Area of scientific interests:** geoacoustic modeling, low-frequency hydroacoustics, seismoacoustics, shelf and coastal geomorphology

**Phone:** +7(423)2-312-617

**E-mail:** yaroshchuk@poi.dvo.ru

**ORCID:** 0000-0002-3212-9752