



DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.7.12>

УДК: 551.463.621.391

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СЛЕДОВ  
ГАЗОВОЙ РАЗГРУЗКИ УЧАСТКОВ МОРСКОГО ДНА  
В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ  
МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ГИДРОЛОКАЦИОННЫХ  
КОМПЛЕКСОВ**

**В.И. Каевицер, И.В. Смольянинов, А.В. Элбакидзе**

**ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал)  
141120, г. Фрязино, пл. Введенского, д. 1**

Статья поступила в редакцию 21 июня 2022 г.

**Аннотация.** Работа посвящена исследованию водной толщи с помощью многофункционального гидролокационного комплекса. Целью исследования является обнаружение и идентификация источников метана и других газов с дна моря в атмосферу. С этой целью проведена обработка и анализ архивных материалов, полученных экспериментально с помощью многоканального цифрового гидролокационного комплекса. Эта задача имеет важное значение для интерпретации результатов дистанционного зондирования земли с космических аппаратов и определения границ участков выхода различных газов, выявляемых при океанологических исследованиях воды.

**Ключевые слова:** интерферометрический гидролокатор бокового обзора, линейная частотная модуляция, дистанционное зондирование, эхолот, профилограф.

**Финансирование:** Государственное задание № 075-01133-22-00.

**Автор для переписки:** Смольянинов Илья Вячеславович, [ilia159@mail.ru](mailto:ilia159@mail.ru)

## Введение

В последние годы большое внимание уделяется разработке методов исследований следов газовой разгрузки метана и других газов с дна арктических морей в атмосферу, поскольку это связано с разведкой месторождений углеводородов и экологическими проблемами. Представляют практический интерес определение источника газовой разгрузки, глубина, и его характерные размеры [1].

В ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН разработан и использовался в ряде инженерных обследований морского дна многоканальный цифровой гидролокационный комплекс, включающий интерферометрические гидролокаторы бокового обзора (ИГБО), промерный высокочастотный эхолот и низкочастотный профилограф с единым управляющим контроллером и программой регистрации, обеспечивающими синхронную регистрацию, как сигнальных, так и навигационных данных [2]. При проведении с его использованием инженерных обследований участков морского дна были выявлены объекты с характерными признаками возможной газовой разгрузки (грязевые вулканы, покмарки) [1, 2, 3, 4]. Поскольку эти работы предназначались для картографирования морского дна и определения структуры донных отложений, то водная толща для этих задач не анализировалась.

### **1. Исследование рассеяния акустических сигналов водной средой с помощью многофункционального гидролокационного комплекса**

В связи с задачей интерпретации результатов дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) с космических аппаратов следов газовой разгрузки [1] возникла необходимость исследований толщи воды для обнаружения выходов газа на поверхность. С этой целью проведена обработка и анализ архивных материалов, полученных экспериментально с помощью многоканального цифрового гидролокационного комплекса. Полученные результаты для

профилографа и гидролокатора бокового обзора (ГБО) приведены в данной работе.

Геометрия съемки толщи воды в режиме профилирования дна и бокового обзора показана на рис. 1.

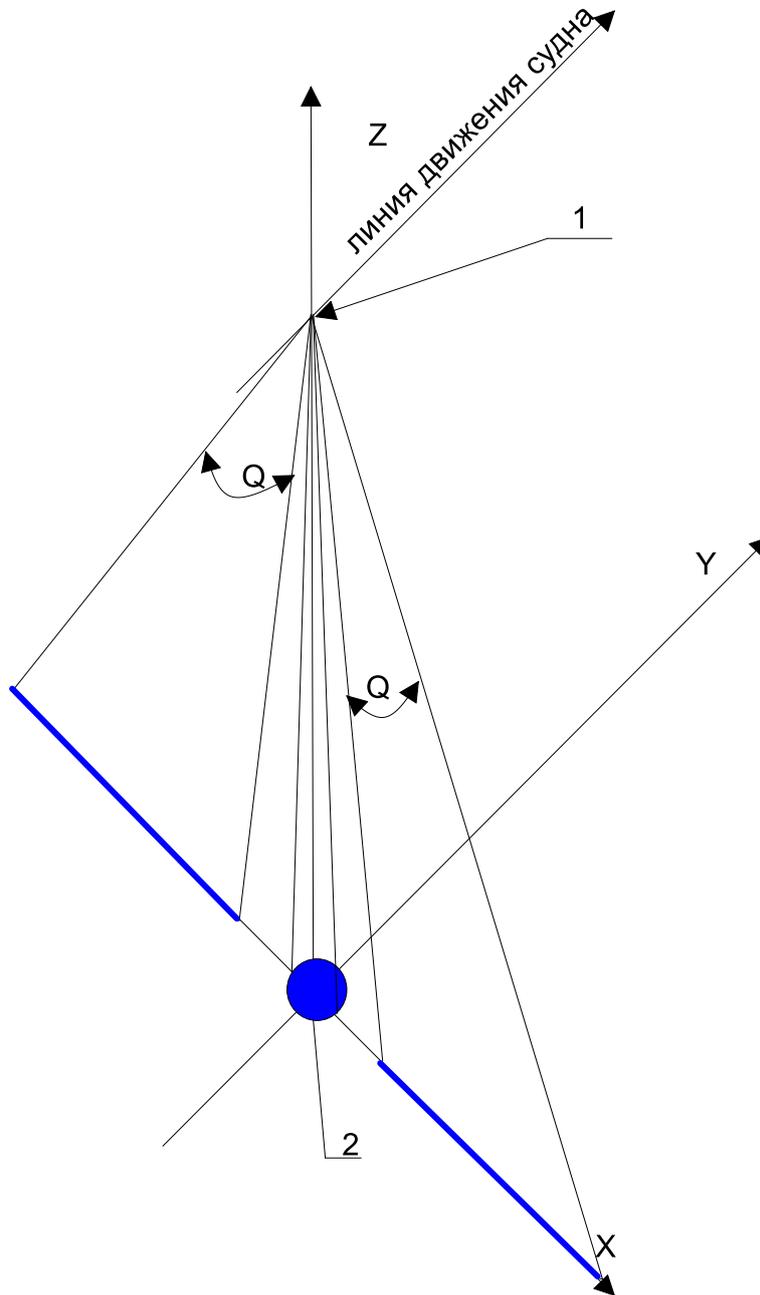


Рис. 1. Геометрия съемки толщи воды в режиме профилирования дна и бокового обзора

На рис. 1 цифрой 1 обозначено место установки антенной системы гидролокационного комплекса на судне, цифрой 2 – пятно, освещаемое на

морском дне профилографом,  $Q$  – ширина диаграммы направленности антенн ИГБО правого и левого борта.

Рассеянные на неоднородностях воды акустические сигналы, имеющие одинаковую задержку, разрешаются приемниками по времени прихода, при этом элемент разрешения представляет слой воды толщиной, равной половине разрешающей способности, ограниченный диаграммой направленности антенн. Объем этих слоев увеличивается с глубиной. Отметим, что в соответствии с геометрией каждый рассеивающий слой при профилировании расположен примерно на одной глубине, а в режиме бокового обзора в диапазоне глубин в пределах диаграммы направленности по вертикали в соответствии с углом  $Q$ .

На рис. 2 в качестве примера приведен фрагмент результата обработки сигналов, рассеянных водной толщей в районе обнаружения покмарок на дне Баренцева моря [2].

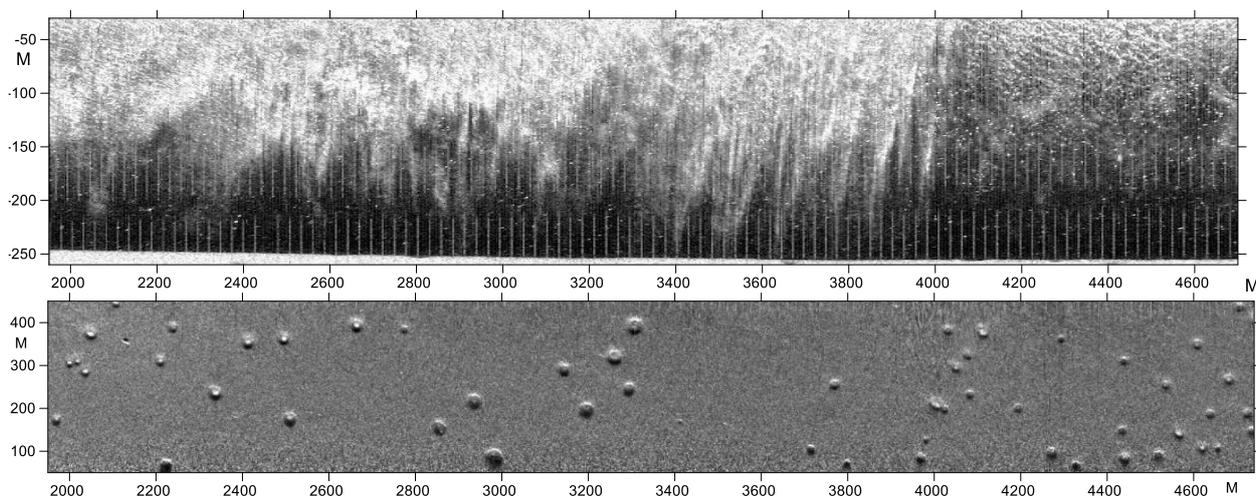


Рис. 2. Фрагмент результата обработки сигналов, рассеянных водной толщей в районе обнаружения покмарок

В верхней части рисунка приведена при сильном усилении структура рассеянных водной средой сигналов в режиме ГБО на частоте 85 кГц. По вертикали отложена глубина в м. По горизонтальной оси отложено расстояние, пройденное ГБО в м. На глубине около 250 м видна поверхность дна. В нижней части рисунка приведено акустическое изображение поверхности морского дна с расположенными на нем покмарками. Как видно на рисунке, в тоще воды видны яркие образования, определяемые мощностью обратного

рассеяния акустических сигналов, которые можно интерпретировать, как следы газовой разгрузки [5, 6]. Периодические вертикальные линии около поверхности дна являются помехами от работы судового навигационного эхолота.

Полученные результаты дали основание проанализировать структуру рассеянных сигналов в водной толще для архивных материалов, измеренных гидроакустическим комплексом в других районах. Проведенная обработка архивных данных позволила выделить район активной газовой разгрузки в Балтийском море. На рисунке 3 приведен фрагмент результатов зондирования водной толщи районе с координатами  $59^{\circ}17'$  с. ш. и  $21^{\circ}27'$  в. д. На верхнем рисунке приведены результаты профилирования воды и донных отложений с разрешающей способностью по глубине около 25 см на частоте 6 кГц. Цифрой 1 отмечена линия морского дна. На среднем рисунке результаты, полученные ГБО диапазона 85 кГц с разрешением по наклонной дальности около 6 см. На нижнем рисунке показано акустическое изображение участка морского дна, на котором проведены измерения. В отличие от района, приведенного на рисунке 2 на акустическом изображении дна нет явных проявлений газовой разгрузки (покмарки, вулканизм и др. [1]), однако следы газовой разгрузки в водной толще проявляются отчетливо. При обработке архивных материалов были получены дополнительные данные работы комплекса в этом же районе год спустя с ГБО диапазона 240 кГц с разрешающей способностью около 3 см. На рисунке 4 приведен фрагмент результатов зондирования водной толщи районе на этой частоте. Цифрой 1 отмечена линия морского дна. Как видно на рисунке, год спустя следы газовой разгрузки также отчетливо видны. Отметим, что на различных частотах (6 кГц, 85 кГц и 240 кГц) эти следы выглядят по-разному, что можно объяснить различием механизмов рассеяния акустических волн разной длины на газовых пузырьках.

Одной из причин обнаруженной газовой разгрузки может быть связь с находящимся вблизи обследованного района крупного месторождения горючих сланцев.

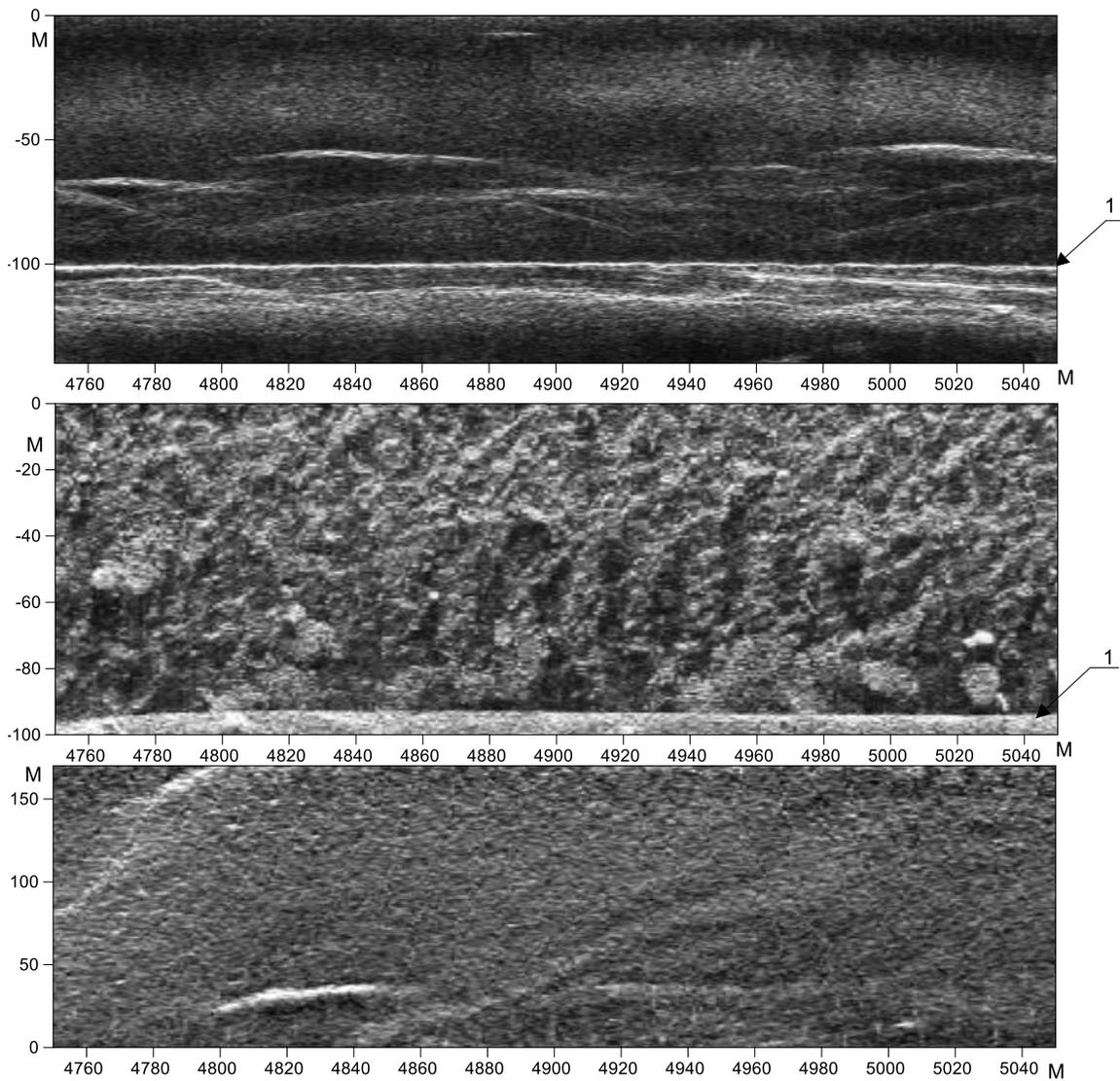


Рис. 3. Фрагмент результатов обработки сигналов, рассеянных водной толщей, эхолота-профилографа (верхний рисунок), ГБО диапазона частот 80 кГц (средний рисунок), и акустическое изображение морского дна с координатами 59°17' с. ш., 21°27' в. д. (нижний рисунок)

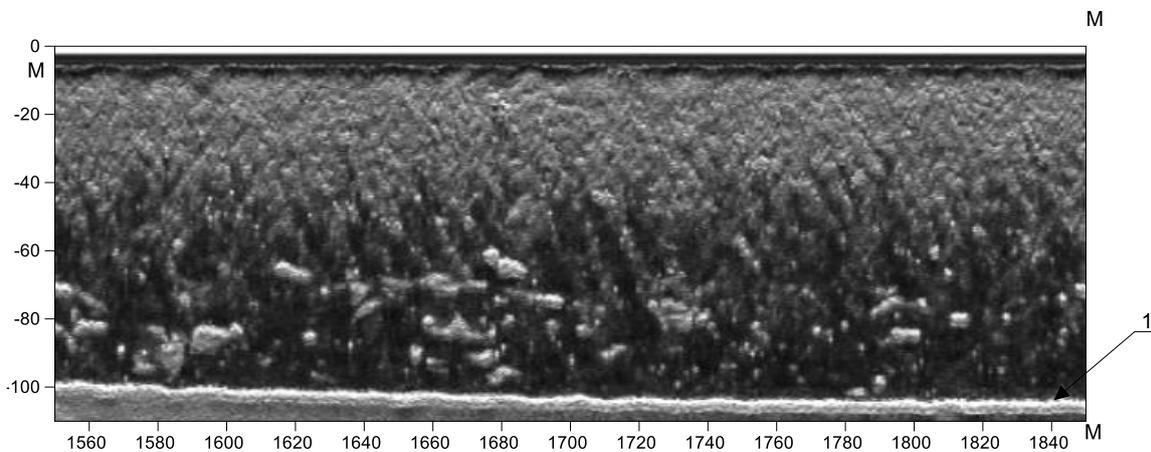


Рис. 4. Фрагмент результатов обработки сигналов, рассеянных водной толщей, ГБО диапазона частот 240 кГц

## Заключение

В результате проведенных исследований толщи морской воды с помощью многоканального цифрового гидролокационного комплекса, обладающего большим энергетическим потенциалом, за счет применения сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), показана возможность обнаружения следов газовой разгрузки метана и других газов из донных отложений. Эта задача имеет важное значение для интерпретации результатов дистанционного зондирования земли с космических аппаратов и определения границ участков выхода различных газов, выявляемых при океанологических исследованиях воды. Поскольку, при боковом обзоре водной толщи угловое разрешение определяется только шириной диаграммы антенн, более детальное исследование позволило бы уточнить структуру газовых факелов и связь их с источником образования. Для этих целей перспективной аппаратурой могут оказаться высокоэнергетические многолучевые эхолоты и параметрические профилографы.

**Финансирование:** Государственное задание № 075-01133-22-00.

## Литература

1. Бондур В.Г., Кузнецова Т.В. Выявление газовых сипов в акваториях арктических морей с использованием данных дистанционного зондирования. *Исслед. Земли из космоса*. 2015. №4. С.30-43. <https://doi.org/10.7868/S020596141504003X>
2. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В., Денисов Е.Ю. Разработка и результаты испытаний гидроакустического комплекса для исследования дна шельфовой зоны Арктических морей. *Журнал радиоэлектроники* [электронный журнал]. 2016. №11. <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/1/text.pdf>

3. Каевицер В.И., Римский-Корсаков Н.А., Смольянинов И.В., Разманов В.М., Кривцов А.П. Возможные проявления подводных грязевых вулканов по результатам гидролокационных исследований в акватории Таманского полуострова. *Океанология*. 2016. Т.56. №5. С.784-790. <https://doi.org/10.7868/S0030157416040055>
4. Каевицер В.И., Словцов И.Б., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Подводные грязевые вулканы Таманского полуострова по данным гидролокационного исследования. *Вулканология и сейсмология*. 2016. №4. С.27-33. <https://doi.org/10.7868/S0203030616040039>
5. Черных Д.В., Соломатин А.С., Юсупов В.И., Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Космач Д.А., Мелузов А.А., Семилетов И.П. Количественная акустическая оценка потоков метана с припайного льда на мелководном Восточно-Сибирском шельфе. *Вестник ДВО РАН*. 2013. №6. С.128-133.
6. Буров Б.А., Мальцева Е.В., Лазарюк А.Ю., Соломатин А.С., Телегин Ю.А., Черных Д.В. Метан в донных осадках и водном слое над тектоническими разломами в Амурском заливе Японского моря. *Вестник ДВО РАН*. 2014. №4. С.66-74.

**Для цитирования:**

Каевицер В.И, Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Экспериментальные измерения следов газовой разгрузки участков морского дна в водной толще при применении многофункциональных гидролокационных комплексов. *Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]*. 2022. №7. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.7.12>