

УДК 621.396.96

**К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ
РЕЛЬЕФА ДНА В ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ ГИДРОЛОКАТОРЕ
БОКОВОГО ОБЗОРА «НЕМАН ИГБО-500»**

Р. О. Болдинов, А. В. Скнар, С. А. Тошов

АО «НИИП имени В.В. Тихомирова», 140180, г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3

Статья поступила в редакцию 28 января 2017 г., после доработки – 12 февраля 2017 г.

Аннотация. В настоящее время многими странами ведется активная работа по поиску и освоению новых месторождений полезных ископаемых в шельфовой зоне морей, в первую очередь углеводородов. Их поиск и освоение требует проведения инженерных изысканий, в том числе получение акустического изображения поверхности дна и его рельеф. К наиболее эффективным системам, позволяющим решать такие задачи, относятся гидроакустические системы, в частности – интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ИГБО).

В настоящей статье рассмотрены вопросы, относящиеся к разработке в АО «НИИП имени В.В. Тихомирова» интерферометрических гидролокаторов бокового обзора, в том числе и ИГБО серии «НЕМАН». Представлены некоторые результаты обработки реальных данных, полученных с помощью интерферометрического гидролокатора «НЕМАН ИГБО-500» в ходе проведения его натурных испытаний на полигоне института.

Ключевые слова: гидроакустические системы, интерферометрический гидролокатор бокового обзора, построение рельефа дна.

Abstract: Currently there are a lot of investigations in the shelf zone of the coastal seas. These works requires engineering surveys including the construction of the bottom topography. Interferometric side scan sonar is one of the most efficient system capable to solve such tasks. The ISSS is working by finding the phase difference between the two signals reflected from the same area on the bottom within one resolution element and received by two separated receiving antennas. Carrying

out of correct interferometric phase difference is the main task for constructing bathymetry of the bottom surface.

This paper reviewed some questions, related to development in JSC “NIIP” of interferometric side scan sonar «NEMAN ISSS-500». Some results of real data processing, carried out by interferometric side scan sonar «NEMAN ISSS – 500», are presented.

Key words: sonar systems, interferometric side scan sonar, constructing bathymetry of the bottom surface.

1. Введение

В последнее время появление новых технических возможностей построения современных гидролокаторов бокового обзора (ГБО) позволило получать акустические изображения поверхности дна высокого качества. Но дальнейшее повышение информативности акустического исследования поверхности дна связано с развитием технологии и техники получения детального рельефа и формированием трехмерного изображения поверхности дна. Поэтому на сегодняшний день задача создания технологий и гидроакустических комплексов, способных с высокой точностью и высокой разрешающей способностью получить как двумерные, так и трехмерные изображения поверхности дна является актуальной. Такую задачу способен решить, в частности, интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ИГБО) «NEMAN ИГБО-500» [1].

2. Принцип действия ИГБО

Особенности геометрии обзора поверхности дна интерферометрическим гидролокатором бокового обзора, состоящим из одной приемо-передающей (A2) и одной приемной (A1) антенн, представлены на рис. 1. Угол отклонения плоскости базы B интерферометра от вертикали равен β , угол визирования на объект на поверхности дна (элемент разрешения) – α . Искомая глубина G в точке z равна:

$$G = H - z. \quad (1)$$

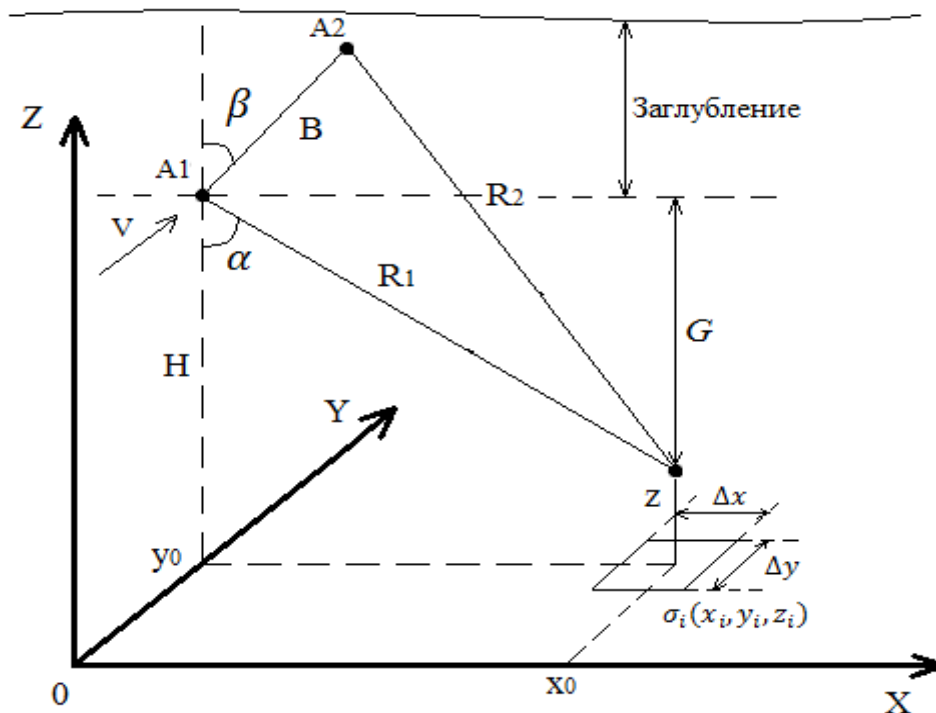


Рис. 1. Геометрия обзора поверхности дна

Принцип действия ИГБО основан на нахождении разности фаз между двумя сигналами, отраженными от одного и того же элемента разрешения на поверхности дна, и принятыми двумя разнесенными в пространстве приемными антеннами. Найденная разность фаз является основой для построения рельефа исследуемого участка дна [2].

Процесс обработки эхосигналов в ИГБО может быть представлен в виде блок-схемы, изображенной на рис. 2.

В блок-схеме рисунка 2: АП – антенный переключатель; ПРД – передатчик; ПРМ1 – приемный тракт первого приемного канала; ПРМ2 – приемный тракт второго приемного канала; ИРФ – интерферометрическая разность фаз.

Рассмотрим некоторые этапы обработки, показанные на рис. 2, более подробно на примере данных, полученных в процессе испытаний гидролокатора «НЕМАН ИГБО-500» на полигоне института.

Данный ИГБО имеет следующие характеристики:

Центральная частота – 520 кГц;

Типы используемых сигналов – Тон, ЛЧМ;

Размер базы – 2,5 см;

Угол отклонения плоскости базы от вертикали – 30 град;

Ширина ДН антенны по азимуту – 1 град.

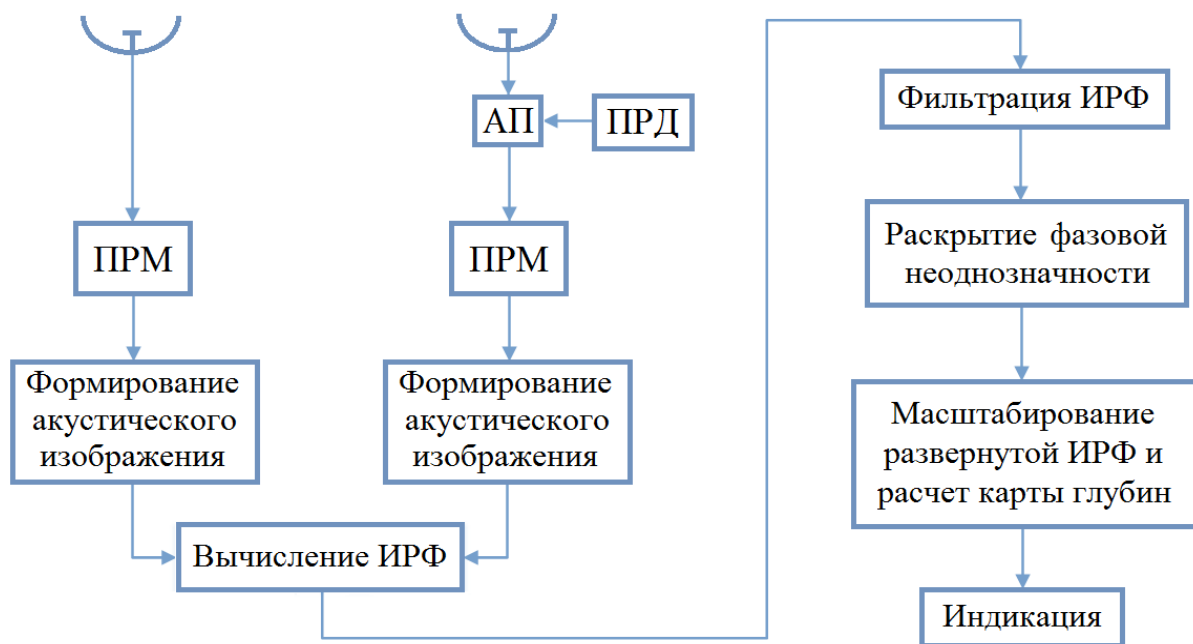


Рис. 2. Блок-схема этапов обработки эхосигналов в однобазовом ИГБО

3. Результаты интерферометрической обработки

На рис. 3, в качестве примера, представлены акустические изображения поверхности дна с затопленной лодкой, полученные после обработки в разных приемных каналах ИГБО.

Согласно рис. 2 вычисление интерферометрической разности фаз происходит по следующей формуле [3]:

$$\Delta\varphi = \arctg \left(\frac{\operatorname{Re}(P_1) \cdot \operatorname{Im}(P_2) - \operatorname{Re}(P_2) \cdot \operatorname{Im}(P_1)}{\operatorname{Re}(P_1) \cdot \operatorname{Re}(P_2) + \operatorname{Im}(P_2) \cdot \operatorname{Im}(P_1)} \right), \quad (2)$$

где P_1, P_2 – массив комплексных отсчетов принятого сигнала с 1-го и 2-го приемных каналов ИГБО соответственно; $\operatorname{Re}(\bullet)$ – оператор выделения реальной части комплексного числа; $\operatorname{Im}(\bullet)$ – оператор выделения мнимой части комплексного числа.

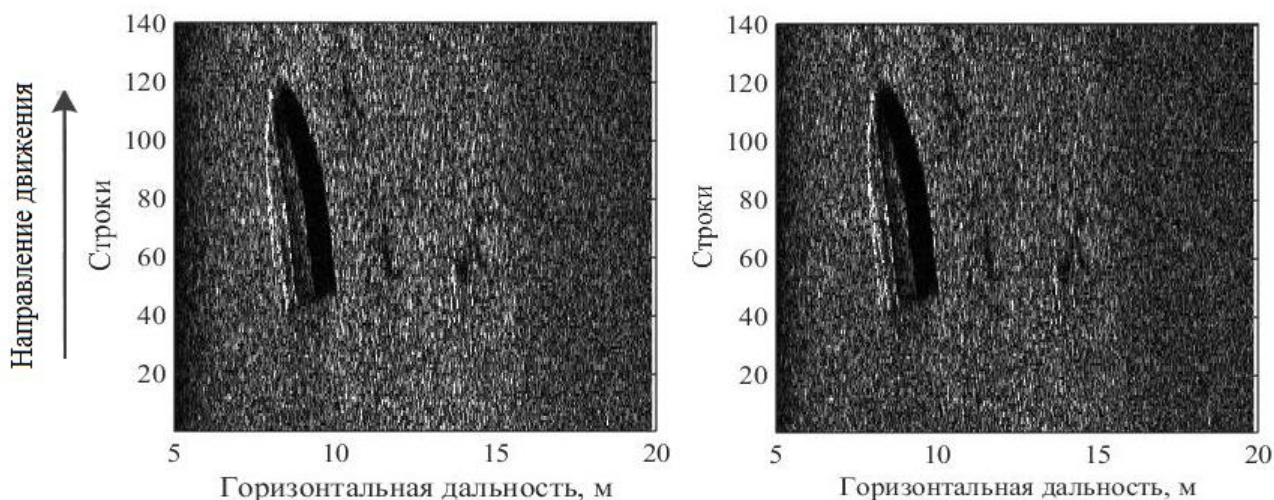


Рис. 3. Акустические изображения поверхности дна с 1-го и 2-го приемных каналов ИГБО

На рис. 4 представлена ИРФ соответствующая паре акустических изображений, представленных на рис. 3.

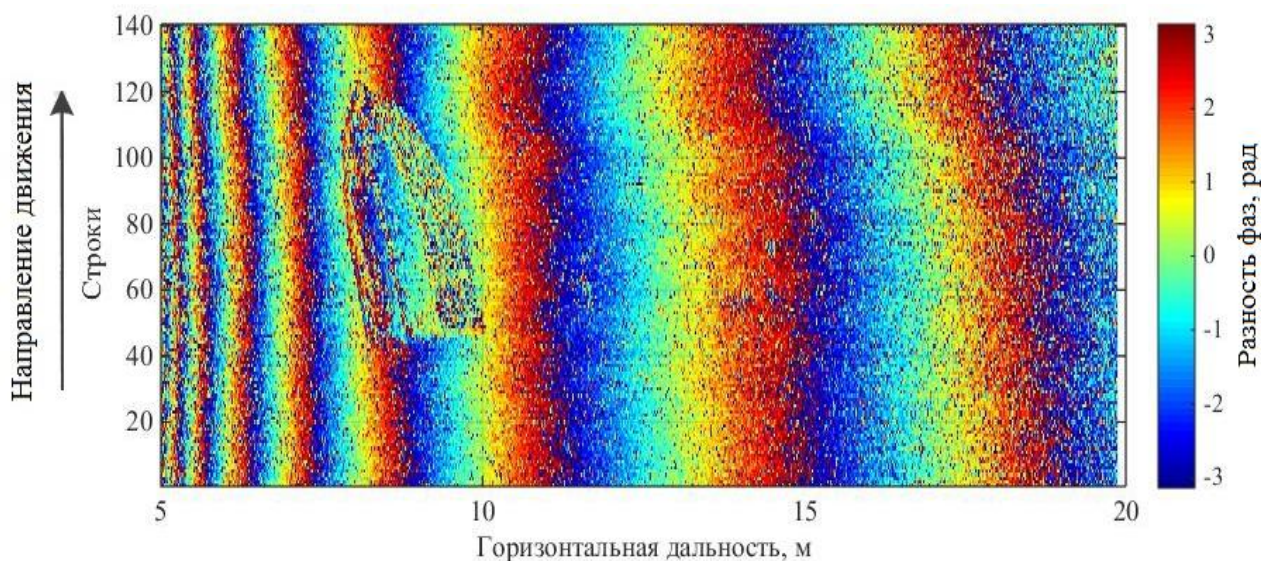


Рис. 4. Интерферометрическая разность фаз

Из-за воздействия на систему различных источников шума и помех качество акустического изображения и формируемой разности фаз ухудшается. Чтобы исключить большинство ошибок на дальнейших этапах обработки прибегают к фильтрации интерферограммы.

На сегодняшний день существует несколько широко применяемых методов фильтрации. Самый простой из них – усредняющий метод [4]. Он основан на усреднении значений сигнала в некотором окне, размер которого выбирается в зависимости от качества интерферограммы.

Следует отметить, что существуют и другие методы фильтрации, например, фильтр на основе оконного преобразования Фурье [4].

На рис. 5, в качестве примера, представлен результат фильтрации ИРФ с помощью метода, основанного на оконном преобразовании Фурье.

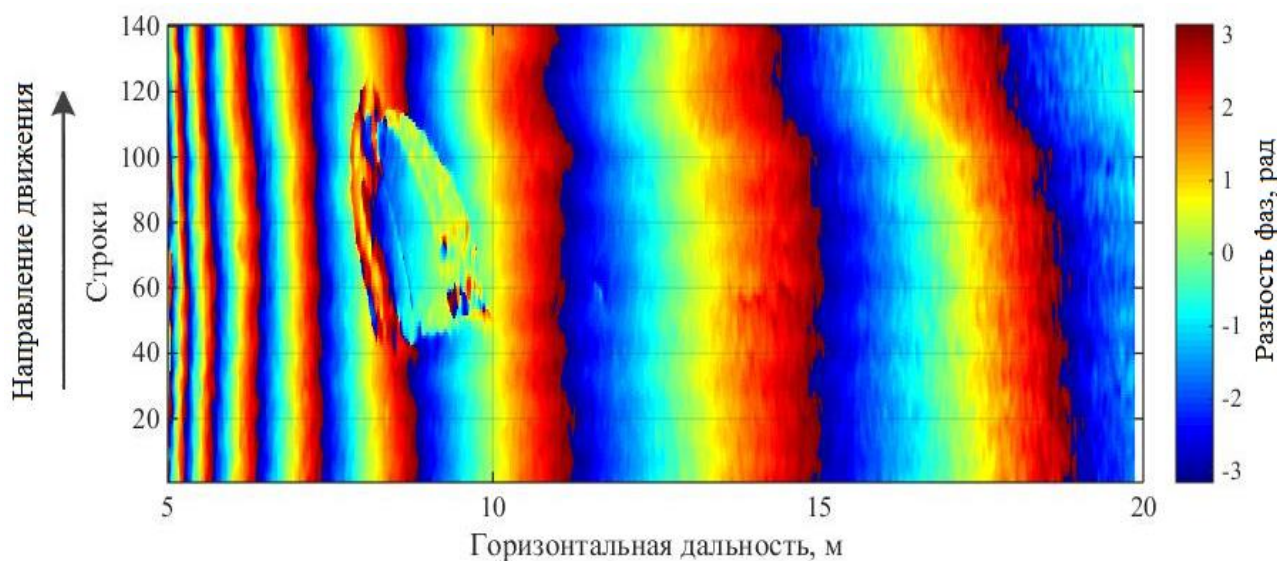


Рис. 5. Результат фильтрации разности фаз с использованием оконного преобразования Фурье

Наиболее трудоемкий этап интерферометрической обработки – раскрытие фазовой неоднозначности. На сегодня существует уже достаточно много методов решения этой проблемы. Условно их можно разделить на два класса: локальные методы и глобальные (интегральные) методы.

На рис. 6, в качестве примера, представлен результат раскрытия фазовой неоднозначности с помощью метода наименьших квадратов [5].

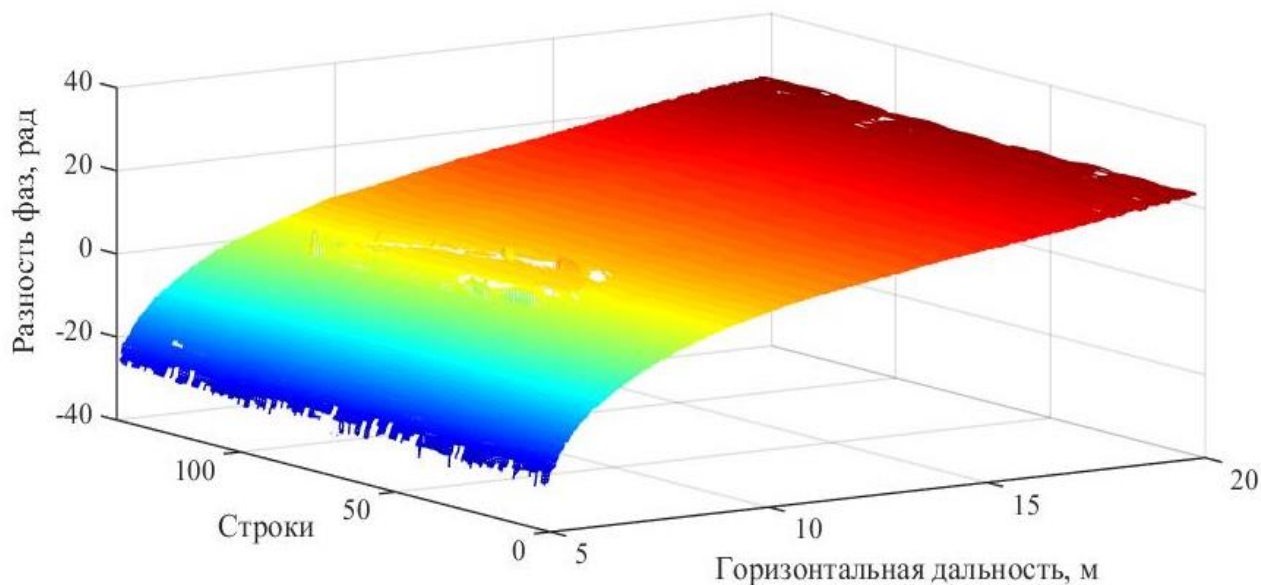


Рис. 6. Результат раскрытия фазовой неоднозначности методом наименьших квадратов

После раскрытия фазовой неоднозначности содержит относительные значения разности фаз, поэтому необходимо ее масштабировать.

Заключительный этап обработки – пересчет значений абсолютной разности фаз в значения глубины и формирование карты глубин.

В качестве примера, на рис. 7 представлена карта глубин в координатах дальность – строки зондирования исследуемого участка дна в трехмерном (верхний график) и двумерном (нижний график) видах, где пересчет разности фаз в глубины производился по следующей формуле [6]:

$$G = R_1 \cdot \cos \left[\arccos \left(\frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{2\pi \cdot B} \right) - \beta \right], \quad (3)$$

где R_1 – наклонная дальность до элемента разрешения; $\Delta\varphi$ – «развернутая» ИРФ; λ – длина волны; B – база ИГБО; β – угол наклона плоскости базы.

В настоящее время, согласно 5-ой редакцией Стандарта S-44 Международной гидрографической организации, к интерферометрическим ГБО выставляется требование обеспечить точность измерения глубины не хуже 5% (от глубины в подлокаторной точке H) на глубинах до 40 м [7].

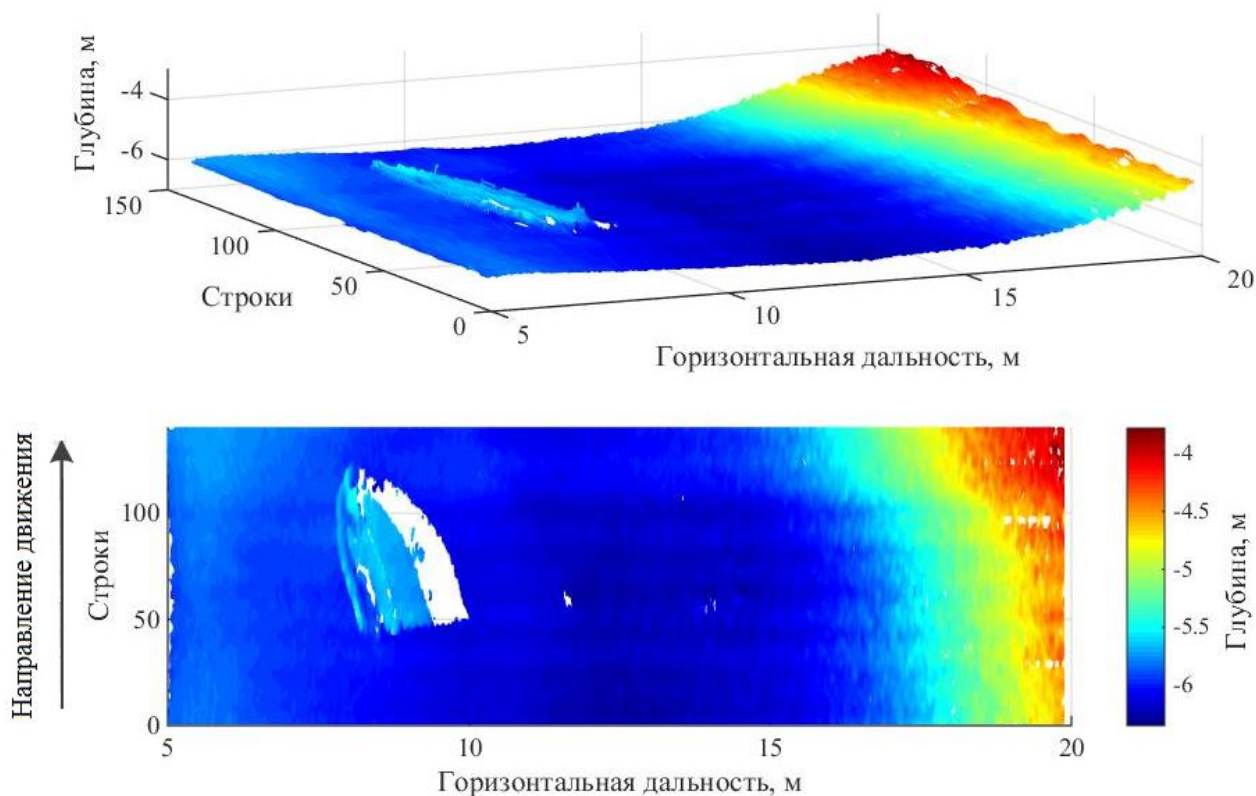


Рис 7. Яркое изображение исследуемого участка дна в трехмерном (верхний рисунок) и двумерном (нижний рисунок) видах

В результате настоящей обработки яркое изображение рельефа дна восстановилось с точностью не хуже 1% (6,5 см) от глубины в подлокаторной точке.

4. Заключение

В настоящей работе были представлены некоторые результаты обработки данных в ИГБО – «НЕМАН ИГБО-500» на примере обработки реальных данных, полученных в ходе натурных испытаний интерферометра, проведенных на полигоне института.

Размеры объекта на дне, полученные в результате обработки, соответствуют размерам затопленной моторной лодки, лежащей вверх килем.

Полученная в результате обработки карта глубин хорошо коррелирует с глубинами, полученными в опорных точках с помощью однолучевого эхолота.

Литература

1. А.Скнаря, Е.Тутынин, М. Климов. Отечественные гидролокаторы со сложными сигналами производства НИИ Приборостроения имени В.В.Тихомирова. Морской сборник, март 2011г., №3, стр.47-51.
2. В.И.Каевицер, В.М.Разманов, А.П.Кривцов, И.В.Смолянинов, С.А.Долотов. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией. «Радиотехника», 2008г., № 8, с. 35-42.
3. Kendall W.B. Unambiguous accuracy of an interferometer angle-measuring system. IEEE Trans. 1965, June. SET-11, № 2, p. 62-70.
4. D. C. Ghiglia, M. D. Pritt, Two-dimensional phase unwrapping, John Wiley, Inc., New York / Chichester / Weinheim / Brisbane / Singapore / Toronto. 1998.
5. Ghiglia D.C. and Romero L.A. Robust two-dimensional weighted and unweighted phase unwrapping that uses fast transforms and iterative methods. *Journal of the Optical Society of America*, Jan. 1994, Vol. 11, No. 1, pp. 107-117.
6. Gerard Llorc-Pujol, Christopher Sintes, Thierry Chonavel, Archie T. Morrison III, Sylvie Daniel, Advanced interferometric techniques for high-resolution bathymetry, *Journal of Marine Technology Society*, 2011, Vol. 46, No. 2, pp. 9-31.
7. Стандарт S-44 «Стандарты МГО для съемки рельефа морского дна» Международной гидрографической организации, 5-я редакция. Монако, 2008. С. 17-18.

Ссылка на статью:

Р.О.Болдинов, А.В.Скнаря, С.А.Тощов. К вопросу о применении алгоритмов построения рельефа дна в интерферометрическом гидролокаторе бокового обзора «НЕМАН ИГБО-500». Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №2. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/feb17/10/text.pdf>