

УДК 551.463.621.391

ОЦЕНКА СХОДИМОСТИ ГЛУБИН ПРИ ПЛОЩАДНОЙ СЪЕМКЕ РЕЛЬЕФА ДНА МНОГОЛУЧЕВЫМ ЭХОЛОТОМ И ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ГИДРОЛОКАТОРОМ БОКОВОГО ОБЗОРА

А. П. Кривцов¹, И. В. Смольянинов¹, А. В. Элбакидзе¹, А. В. Степанов²

¹Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН, Фрязинский филиал, 141120, г. Фрязино Московской области, пл. Введенского 1

²ООО «Северозападное гидрографическое предприятие», 197101, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 34, литер Г

Статья поступила в редакцию 30 марта 2017 г.

Аннотация. Проведено сравнение батиметрических данных, полученных при гидролокационном зондировании одних и тех же участков морского дна многолучевым эхолотом и интерферометрическим гидролокатором бокового обзора. Представлены результаты обработки экспериментальных данных, указывающие на качественное и количественное совпадение результатов измерений рельефа донной поверхности этими системами. Подтверждена возможность применения интерферометрических гидролокаторов бокового обзора для вычисления глубин в широкой полосе съемки с точностью, достаточной для целей картосоставления в районах со средне- и слаборасчлененными формами донного рельефа.

Ключевые слова: гидроакустические системы, многолучевой эхолот, интерферометрический гидролокатор бокового обзора, батиметрия морского дна.

Abstract. A comparison of bathymetric sonar data has made by probing the same areas of the seabed multibeam echo sounder and interferometric side-scan sonar. The results of experimental data processing indicating quantitative and qualitative agreement between the sea bottom elevation measurements carried out by these systems are presented. The research has confirmed the possibility of using

interferometric side-scan sonar to compute the depths in a broad swathe with accuracy sufficient for the purposes of seabed mapping in areas with medium and weak forms of the bottom relief.

Key words: sonar systems, multibeam echosounder, interferometric side-scan sonar, sea floor bathymetry.

1. Введение

При выполнении инженерно-геологических изысканий на шельфе, прокладке трасс кабелей и трубопроводов, обследовании гидротехнических сооружений используется широкий набор технических средств. Для эффективного выполнения промерных работ на больших акваториях, а также там, где требуется детальная топографическая съемка рельефа дна, чаще всего привлекаются многолучевые эхолоты (МЛЭ) и интерферометрические гидролокаторы бокового обзора (ИГБО) [1-7]. Эти гидролокационные комплексы позволяют вычислять глубины в широкой полосе обзора и одновременно получать акустические изображения донной поверхности. Пространственное и временное разрешение комплексов зависит от аппаратной реализации систем, типа используемых сигналов и методов их обработки. Так как в алгоритмах измерения рельефа дна МЛЭ и ИГБО имеются существенные отличия, представляет интерес сравнение данных зондирования, полученных на одних и тех же участках дна этими системами.

2. Сравнение данных батиметрии МЛЭ и ИГБО

Многолучевые эхолоты и интерферометрические гидролокационные комплексы, привлекаемые для выполнения гидрографических работ, отличаются как по своим принципам действия, так и по методам и алгоритмам обработки гидроакустических сигналов. Интерферометрический метод имеет высокую разрешающую способность, обеспечивает большое количество измерений наклонных дальностей, которые не могут быть достигнуты другими известными методами. Среди поисковых систем ИГБО обладают наибольшей дальностью действия. Из-за большой ширины полосы обзора

производительность обследования мелководных водоемов у ИГБО на 30% - 40% выше, чем у типичного МЛЭ. Преимуществом ИГБО является и то, что при оптимальных условиях он может выполнить почти фотографическую акустическую съемку морского дна, что весьма существенно при выполнении поисковых работ и интерпретации подводных объектов.

Основное предназначение МЛЭ – площадная съемка рельефа дна с достаточно большой подробностью данных. На сегодняшний день, несмотря на высокую стоимость, многолучевые эхолоты являются общепризнанным средством площадной батиметрической съемки. Применение для этих целей на порядок более дешевых интерферометрических ГБО считается недостаточно обоснованным из-за погрешностей вычисления глубин на крутых склонах и вертикальных стенках.

Для объективной оценки возможности применения ИГБО для площадной батиметрической съемки был выполнен ряд экспериментов по одновременному зондированию многолучевым эхолотом и интерферометром участков донного рельефа с наклонами неровностей, достигающими 30 градусов. Локация выполнялась и в районах с относительно ровным дном, имеющим отдельные детали рельефа с крутыми склонами. В работах были задействованы установленные на одном и том же судне автоматизированный гидрографический комплекс площадной съемки АГКПС–300 «Кедр», разработанный в ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, и многолучевой эхолот SeaBat T20 производства компании Teledyne RESON A/S, находящиеся в эксплуатации в ООО «Северозападное гидрографическое предприятие». При обработке измерений привлекались данные спутниковой системы навигации GPS/DGPS, измерения профиля скорости звука в воде, а также данные датчиков крена, дифферента и вертикальных перемещений носителя ГБО [8].

На Рис. 1 приведены фрагменты батиметрических карт с цветовой шкалой глубин участка дна в Баренцевом море с глубинами около 250 метров, построенные по результатам измерений рельефа этими системами. Обследованный участок представляет собой сравнительно ровную область

морского дна размером 400×2800 м с аномальными объектами в виде ям, происхождение которых вероятнее всего связано с присутствием и выбросами залегающего рядом с поверхностью газа [9]. Видно хорошее качественное совпадение полученных батиметрических данных.

Чтобы оценить применимость батиметрии ИГБО для целей картосоставления, был выполнен более детальный количественный анализ результатов измерений. Для этой цели отсчеты глубин, полученные с помощью многолучевого эхолота, брались за эталон, с которым проводилось сличение глубин, полученных интерферометрическим ГБО. Сравнение, проведенное по всей площади участка, показало, что среднеквадратическое отклонение глубин, вычисленных по данным ИГБО, от глубин, вычисленных по данным МЛЭ, составляет 0.66 метра. Полученная оценка неопределенности находится в пределах допустимого стандарта, подлежащего соблюдению, при производстве гидрографических работ [11].

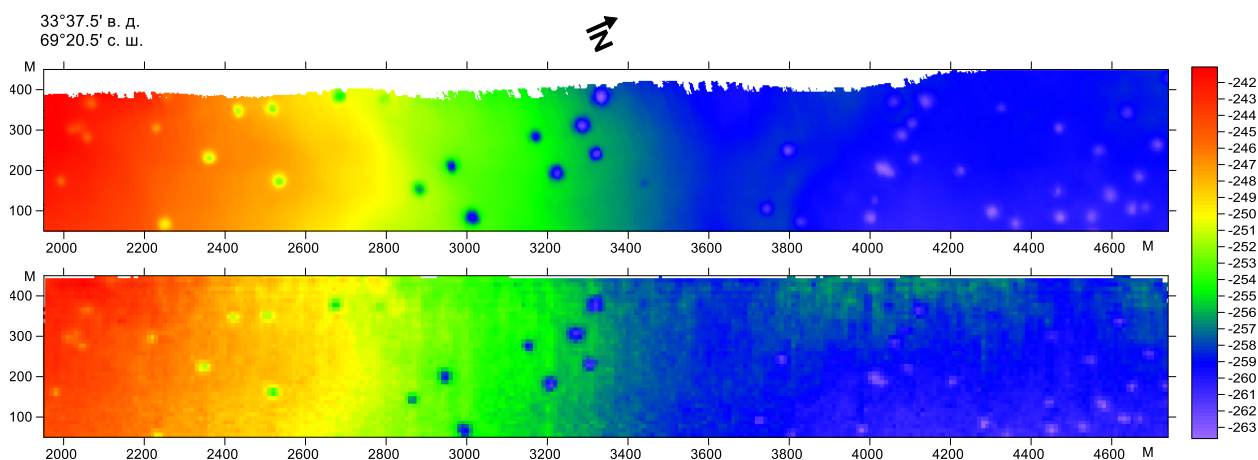


Рис. 1. Фрагменты батиметрических карт участка дна в Баренцевом море по данным МЛЭ (вверху) и интерферометрического ГБО (внизу). Стрелка вверху указывает направление на Север.

Для оценки возможности использования ИГБО в площадных батиметрических измерениях на пересеченном донном рельефе было выполнено гидролокационное зондирование подходящего участка дна на глубине около 110 метров в Балтийском море [10]. Обследованный район представляет собой область с весьма расчлененными формами рельефа и наклонами неровностей,

достигающими 30 градусов. Результаты гидроакустической съемки показаны на Рис. 2.

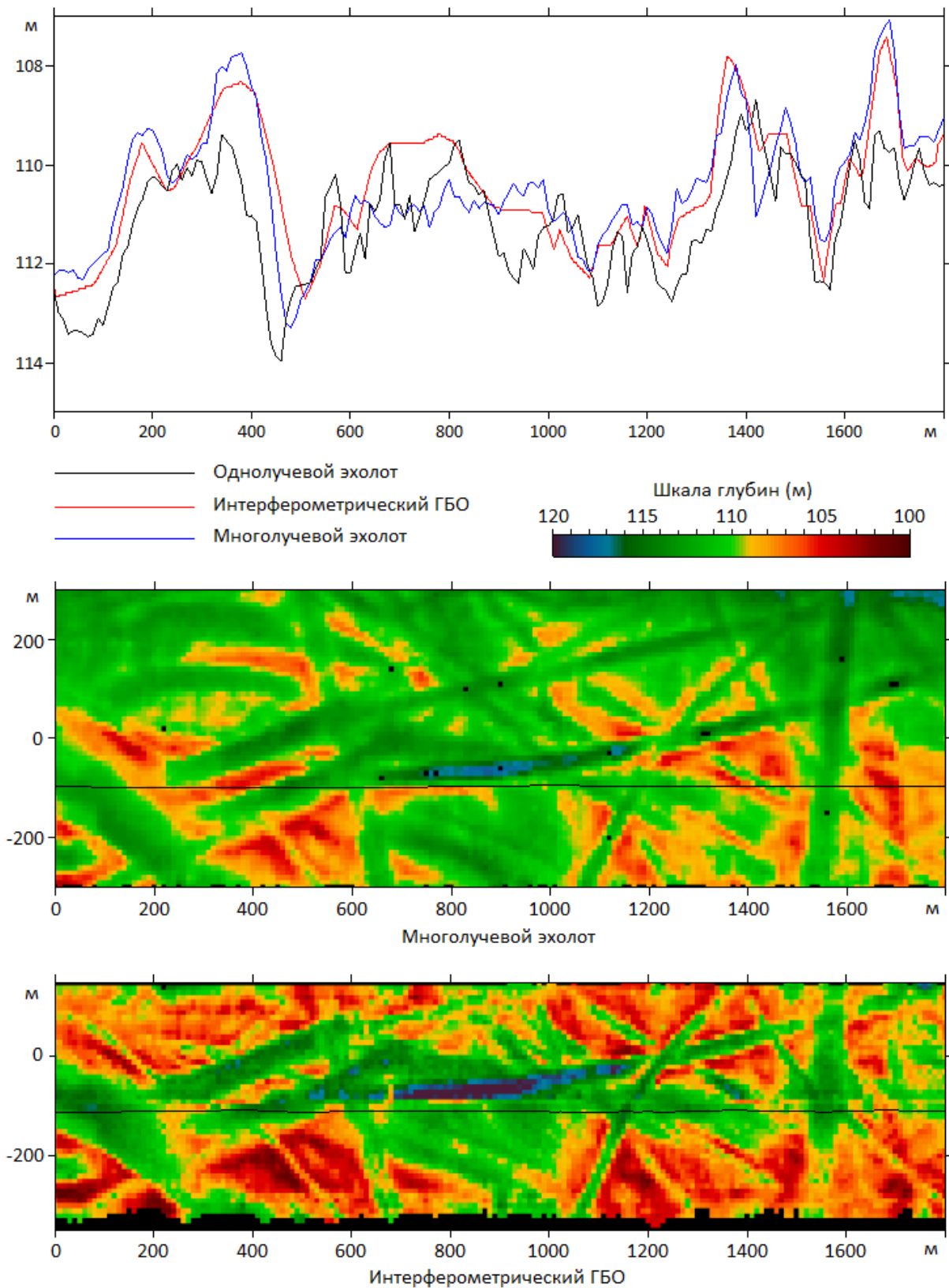


Рис. 2. Сравнение глубин измеренных МЛЭ и ИГБО.

На этом рисунке представлены выделенные для анализа фрагменты батиметрических карт с цветовой шкалой глубин, построенных по данным ИГБО и МЛЭ. Вверху в виде графика отображены результаты измерения глубин этими системами вдоль трассы, отображенной на батиметрических данных в виде черной линии.

Так же как и в первом случае, при анализе данных отсчеты глубин, полученные с помощью многолучевого эхолота, были взяты за эталон, с которым проводилось сличение глубин, полученных интерферометрическим ГБО. Сличение проводилось как по отдельным профилям, так и по всей площади выделенного участка. Результаты промеров глубин вдоль одной из трасс приведены вверху. Здесь же, для сравнения, в виде графика отображены результаты измерения рельефа дна однолучевым эхолотом. Видно, что все системы дают близкие значения глубин и в целом отражают характер изменения рельефа донной поверхности. Среднеквадратическое отклонение глубин, вычисленных по данным многолучевого эхолота, от глубин, вычисленных по данным интерферометра, не превышает 0.8 метра, как по отдельным сечениям, так и по всей площади съемки. Полученная оценка неопределенности измерения подводного рельефа также находится в пределах значений, допустимых стандартом МГО на гидрографические съемки [11].

3. Заключение

Совместные испытания интерферометрического гидролокационного комплекса бокового обзора и многолучевого эхолота показали качественное и количественное совпадение результатов измерений глубин этими системами. Полученные данные подтверждают возможность выполнения площадной батиметрической съемки дна интерферометрическими ГБО во многих морских районах со средне- и слаборасчлененными формами рельефа, с точностью вычисления глубин, достаточной для целей картосоставления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-07-00612.

Литература

1. Каевицер В.И., Разманов В.М. Дистанционное зондирование морского дна гидролокационными системами со сложными сигналами // УФН, 2009, т. 179, № 2, с. 218-224.
2. Каевицер В.И., Разманов В.М., Кривцов А.П., Смольянинов И.В., Долотов С.А. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией // Радиотехника, 2008, № 8, с. 35-42.
3. Каевицер В.И., Разманов В.М., Смольянинов И.В., Элбакидзе А.В. Акустические исследования морского дна с использованием сигналов с линейной частотной модуляцией // Известия ЮФУ. Технические науки, 2013, № 9, с. 81-85.
4. Долотов С.А., Каевицер В.И., Кривцов А.П., Разманов В.М., Смольянинов И.В. Применение интерферометрического ГБО с ЛЧМ зондирующим сигналом для исследования морского дна // Известия ГРТУ, 2004, №5, с.268-273.
5. Зеньков А.Ф. О приоритетных направлениях развития импортозамещаемых средств съемки и обследования морского дна // Навигация и гидрография, 2014, № 38, с. 22-30.
6. Нестеров Н.А. Некоторые аспекты технологии гидролокационного поиска донных объектов // Навигация и гидрография, 2014, № 38, с. 57-65.
7. 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. 714-720.
8. 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. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/nov16/1/text.pdf>

9. Мэйер Л.А. Картографирование и изучение рельефа дна Северного Ледовитого океана в условиях изменения климата // Вестн. Моск. ун-та, Сер. 25, Международные отношения и мировая политика, 2011, № 2, с. 204-227.
10. Каевицер В.И., Кривцов А.П., Раскатов В.Н., Смольянинов И.В., Степанов А.В. Оценка сходимости глубин, полученных многолучевым эхолотом и интерферометром // X Всероссийская конференция “Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики”, труды конференции, Санкт-Петербург, 2010, с. 141-143.
11. «Стандарты МГО на гидрографические съемки». Специальная публикация № S-44, Международная гидрографическая организация, 5-е издание, Монако, 2008.

Ссылка на статью:

А. П. Кривцов, И. В. Смольянинов, А. В. Элбакидзе, А. В. Степанов. Оценка сходимости глубин при площадной съемке рельефа дна многолучевым эхолотом и интерферометрическим гидролокатором бокового обзора. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №4. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/apr17/2/text.pdf>