

СОВРЕМЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА МОРСКОГО ДНА НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

© 2022 г. Н. Н. Дмитриевский¹, *, Р. А. Ананьев¹, Г. А. Колочкина¹,
У. В. Симакова¹, В. О. Мокиевский¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: nnd2008@rambler.ru

Поступила в редакцию 20.08.2021 г.

После доработки 12.09.2021 г.

Принята к публикации 30.09.2021 г.

Данные о батиметрии морского дна необходимы для морской геологии и геоморфологии, картографии и палеогеографии, геоэкологии и гидроакустики, а также других прикладных направлений исследований. Батиметрические исследования в рамках 5-го этапа комплексной прибрежно-морской экспедиции “Черное море” на НИС “Ашамба” в 2020 году выполнялись для решения задач мониторинга прибрежных донных сообществ на двух полигонах детальных исследований – южнее м. Малый Утриш и к югу от Голубой бухты. Основной причиной проводимых исследований послужили существенные расхождения полученных в контрольных точках батиметрических данных с навигационными картами и данными батиметрических моделей. Проведенные работы позволили уточнить строение рельефа морского дна районов исследований.

Ключевые слова: батиметрия, многолучевой эхолот, цифровые модели морского дна

DOI: 10.31857/S0030157422020046

ВВЕДЕНИЕ

Как отмечено в [1], моделирование рельефа дна, с некоторой долей условности, можно разделить на две группы – создание генеральных моделей рельефа дна крупных акваторий в условиях резкого дефицита пространственно-координированных отметок глубины и детальные исследования рельефа дна небольших по площади участков с достаточным количеством данных. Генеральные модели рельефа дна должны являться основой для определения таких “ключевых” участков шельфа, представляющих интерес для дальнейшего подробного изучения с целью решения конкретных практических задач.

Так, например, рельеф морского дна является важным фактором распространения различных донных сообществ. При этом известно, что на небольших глубинах (в пределах 200 м) глубина сама по себе (как гидростатическое давление) оказывает слабое влияние на бентос, но, тем не менее, факторы, определяющие распределение бентоса, в значительной степени коррелируют с глубиной и мезорельефом дна. Последний, в ряде случаев, отвечает за мозаичность сообществ на заданной глубине.

В течение ряда последних лет Институтом океанологии им. П. П. Ширшова РАН в рамках комплексной прибрежно-морской экспедиции “Чер-

ное море” проводится систематическое изучение и мониторинг донных сообществ на двух “ключевых” полигонах детальных исследований – к югу от м. Малый Утриш и к югу от Голубой бухты на глубинах 80–200 м [2]. В районе м. Малый Утриш донные осадки представлены алевритово-пелитовыми илами. Здесь наблюдается обнажение древних осадков с высокой долей ракуши (преимущественно *Dreissena* spp., обитавшая в данном районе более 7 тыс. лет назад), а среди современных организмов доминирующую роль играют двустворчатые моллюски *Modiolula phaseolina*. На траверзе Голубой бухты осадки обеднены ракушечным материалом, в котором отмечались исключительно современные виды, а основными доминантами макрозообентоса были полихеты *Melinna palmata*.

Было выдвинуто предположение, что такая разница в распространении донных сообществ обусловлена различиями в геоморфологическом строении морского дна. Район Утриша, выдающийся в море – часть полуострова Абрау, здесь шельф имеет большую протяженность, чем в районе Голубой бухты. В области мысов течения обычно более сильные, что способствует вымыванию легких фракций и приводит к заглублению зоны песков на большие глубины, чем в районе вогнутого берега [3]. Однако детальных батимет-



Рис. 1. Карта района работ, полигоны детальных исследований показаны красным цветом.

рических карт этого района найти не удалось, а данные о глубине, полученные с помощью судового однолучевого эхолота в точках отбора проб грунта показали существенные расхождения с навигационными картами и данными батиметрических моделей. Указанный факт послужил причиной для проведения подробных промерных исследований двух указанных районов и построения цифровых батиметрических моделей и карт районов работ, включающих участки материковой отмели, бровки шельфа и материкового склона.

РАЙОН РАБОТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Батиметрические исследования проводились на двух выбранных ранее полигонах вблизи бровки шельфа: южнее м. Малый Утриш и Голубой бухты. Карта района работ представлена на рис. 1.

Все работы производились с принадлежащего Южному отделению ИО РАН научно-исследовательского судна «Ашамба».

Основными приборами, использовавшимися при работе, являлись:

- многолучевой эхолот *WASSP WMB-3250*,
- блок компенсации крен-дифферента и вертикальных перемещений судна *Seatech MRU-Z*,
- спутниковый компас *Furuno SC-30*.

Многолучевой эхолот *WASSP WMB-3250* (производство *WASSP Limited*, Новая Зеландия) явля-

ется законченной системой получения данных о батиметрии и водной толще для глубин до 300 м. Точность измерений эхолота соответствует международному гидрографическому стандарту ИО Order 1a, он совместим с профессиональным гидрографическим программным обеспечением *Hurask*, *Qinsy* и т.д. Многолучевой эхолот состоит из блока приема-передачи *VTxR*, процессора и приемно-передающей антенны. Для управления системой и регистрации данных используется портативный компьютер. Основные технические характеристики эхолота приведены в табл. 1.

Наборный блок-компенсатор *Seatech MRU-Z* (производство *Kongsberg Seatech*, Норвегия) позволяет вводить поправки в многолучевой эхолот за вертикальные перемещения, а также крен-дифферент судна с точностью до 0.5 градуса. Спутниковый компас *Furuno SC-30* представляет собой комбинированное устройство, сочетающее возможности компаса, датчика угловых перемещений судна и *GPS*-навигатора.

Схема крепления многолучевого эхолота *WASSP WMB-3250* была адаптирована к условиям судна ранее [4]. Излучатель прибора устанавливался на специальную штангу, обеспечивая загляблиение приема – передающей антенны на глубину около 0.7 м на расстоянии 0.5 метра от борта судна, что позволяло получать информацию с двух бортов одновременно. Блок компенсации качки и крена – дифферента устанавливался на

главной палубе рядом с местом крепления штанги, антенна спутникового компаса была установлена над носовой рубкой.

Методика работы с батиметрическим комплексом предусматривала движение судна по исследовательским профилям с одновременной записью данных многолучевого эхолота на твердый носитель и выводом текущего изображения на экраны соответствующих мониторов. На экраны монитора при этом выводились окна контроля движения по исследовательским галсам и информации по батиметрии в полосе захвата эхолота. В процессе работы в реальном времени фиксировались все представляющие интерес формы рельефа, при последующей обработке осуществлялась их полная пространственная и временная привязка.

Скорость движения судна составляла величину порядка 4–5 узлов и ограничивалась, в первую очередь, механическими параметрами крепления штанги к борту судна. Указанные в характеристиках многолучевого эхолота (табл. 1) величины “Диапазон глубин воды”, “Полоса покрытия” и “Угол покрытия” являются взаимосвязанными, и на практике при максимальной рабочей глубине около 300 метров эффективная отображаемая полоса дна составляла порядка одной глубины, то есть около 300 метров. При минимальных глубинах акватории угол покрытия увеличивался, что приводило к возможности получать батиметрические данные с двух бортов в диапазоне до 3 глубин. Для построения и контроля прохождения исследовательских галсов, сбора и обработки батиметрических данных использовалась программа Нураск.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как указывалось ранее, работы производились на двух исследовательских полигонах (рис. 1). На полигоне южнее Голубой бухты общая длина пройденных галсов составила более 30 морских миль, на полигоне к югу от м. Малый Утриш – около 25 миль. Таким образом, общий объем выполненных батиметрических исследований составил около 60 морских миль. Расстояние между профилями выбиралось с таким расчетом, чтобы при реальной полосе покрытия эхолота обеспечить полное площадное перекрытие заданных форм участков.

После обработки полученных при промере данных были построены цифровые батиметрические модели и карты районов работ (рис. 2). В пределах наших исследовательских полигонов выделяются участки материковой отмели, бровки шельфа и материкового склона.

Таблица 1. Технические характеристики эхолота WASSP WMB-3250

Характеристика	Величина
Рабочая частота	160 кГц
Количество лучей	224
Угол покрытия	Более 120°
Полоса покрытия	До 3.4 глубин
Период излучений	До 48 в с
Мощность	До 1 кВт
Ширина луча	0.54°
Диапазон глубин воды	1–300 м
Вертикальное разрешение	7.5 см
Размеры антенны	33–17–10 см

Ширина шельфа на траверзе Голубой бухты составляет 5–6 км, на полигоне южнее м. Малый Утриш – более 10 километров. Материковая отмель на полигонах представляет собой относительно выровненную поверхность. Бровка шельфа на траверзе м. Малый Утриш в плане представляет собой изгиб, выпуклой стороной обращенный в сторону моря, на полигоне южнее Голубой бухты эта кромка более прямолинейная.

На участке материкового склона на полигонах выделяются выступы различной величины. Их вершинные поверхности представлены тектонически расчлененным рельефом, по ряду морфологических признаков есть основание предполагать, что выступы представляют собой относительно крупные оползневые блоки или, возможно, сбросы [5]. Помимо этого, склон осложнен мелкими врезами, узкими ступенями и небольшими уступами.

Помимо карт глубин, на полигоне “Малый Утриш” была построена карта углов наклона рельефа (рис. 3), что позволило выявить до 5-ти террасовых поверхностей в верхней части материкового склона. Они располагаются в интервале глубин 115–300 м, ограничивающие их уступы имеют углы наклона до 45 градусов. Вероятно, их формирование происходило вследствие регрессивно-трансгрессивных колебаний уровня Черного моря [6]. Эти события неоднократно повторялись в плейстоцене и соответствовали этапам осушения и затопления шельфа [7].

В настоящее время существует несколько цифровых моделей рельефа морского дна. Самая известная из них – Генеральная батиметрическая карта океанов (ГЕБКО), охватывающая весь Мировой океан. В 2003 г. было заявлено о переходе к цифровой эпохе составления ГЕБКО, карты 5-го издания были оцифрованы и представлены в виде цифрового Атласа. Следует отметить, что детальность карт непрерывно повышается, последняя версия ГЕБКО является цифровой моделью рельефа, где значение глубины вычислено

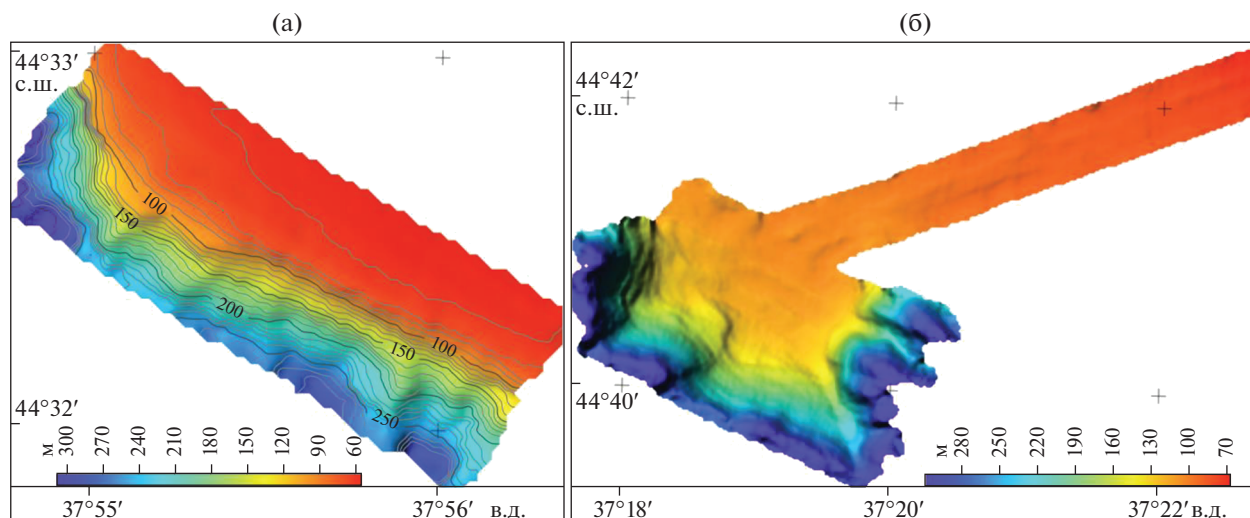


Рис. 2. Батиметрические карты районов исследований. а) – Полигон на траверзе Голубой бухты, изобаты через 10 м; б) – полигон, располагавшийся к югу от мыса Малый Утриш.

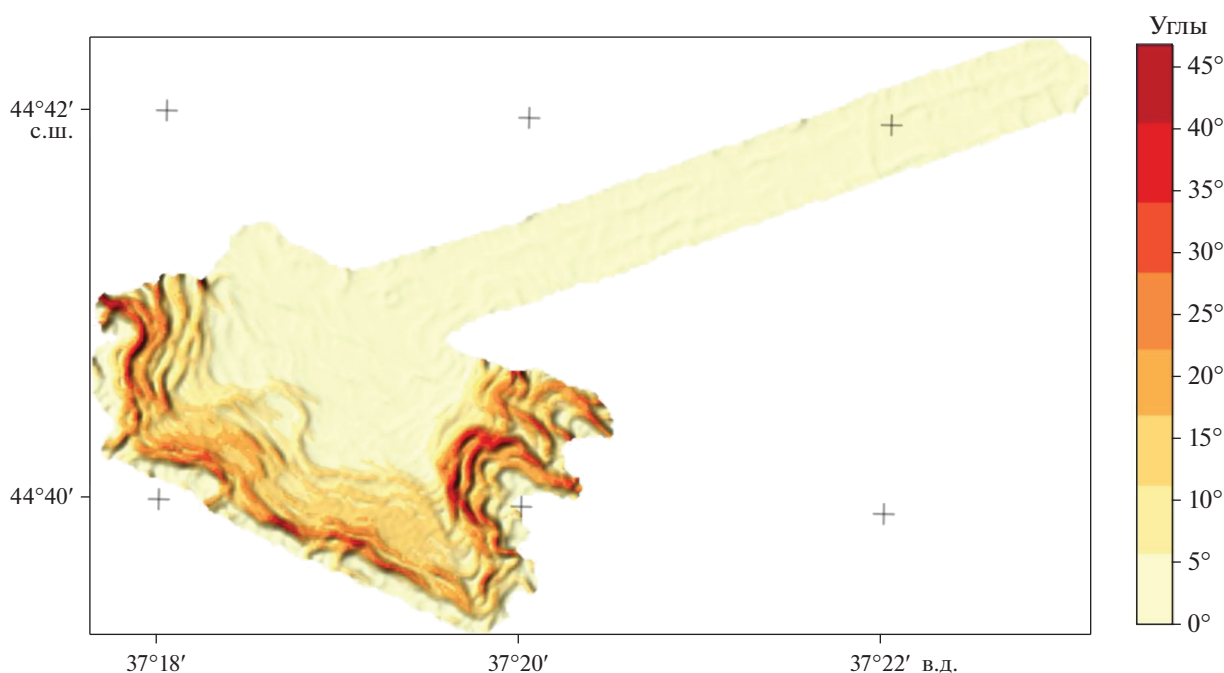


Рис. 3. Карта углов наклона рельефа на полигоне южнее Малого Утриша.

для каждой ячейки размером 15 дуговых секунд [8]. Для некоторых районов, в основном в пределах экономических зон, уже имеются цифровые модели рельефа (ЦМР) с большой детальностью, так, для районов вокруг Австралии создана ЦМР с ячейкой 50 м.

Для определения степени достоверности имеющихся данных ГЕБКО [8] в пределах я акватории было проведено сравнение полученных батиметрических данных с модельными данными на полигоне Утриш. Полученная карта расхождений глубин показывает значительное и абсолютно не-

допустимое для выполнения поставленных при выполнении работ задач несоответствие модельных данных ГЕБКО реальному рельефу морского дна. В особенности это относится к участкам вблизи бровки шельфа, где отличия достигают почти 150 метров (рис. 4).

Полученные данные о глубинах сопоставлены с наиболее крупномасштабными (из доступных для района исследований) навигационными картами УНиО МО РФ масштаба 1 : 100 000 и электронными навигационными картами С-Мар. Сравнение с этими картами показало существен-

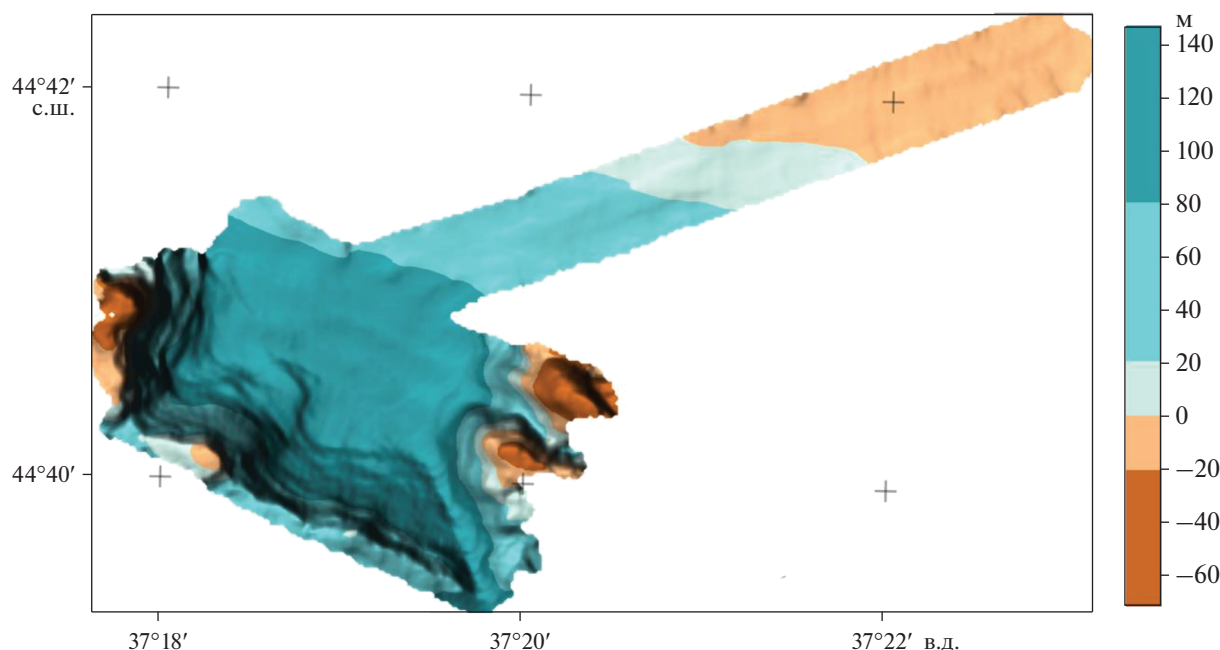


Рис. 4. Карта расхождений глубин по модельным и измеренным данным на полигоне “Утриш”.

ные расхождения, составлявшие десятки метров. Такие различия связаны с тем, что для построения навигационных карт в качестве базы данных в подавляющем большинстве случаев были использованы данные однолучевых промеров с редкой сеткой исследовательских галсов и последующей аппроксимацией при недостаточном навигационном обеспечении.

Таким образом, для определения профиля дна на небольших по размерам полигонах с высоким пространственным разрешением представляется абсолютно необходимым проведение предварительных детальных исследований с помощью высокочастотного геофизического оборудования — многолучевых эхолотов или интерферометров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторами выполнены детальные батиметрические исследования двух полигонов на шельфе Черного моря в районе Голубой бухты и мыса Малый Утриш. Построены цифровые батиметрические карты полигонов, описаны особенности строения рельефа морского дна указанных районов. Полученные данные о глубинах позволяют уточнить закономерности распространения донных сообществ в зависимости от различий в положении кромки шельфа двух исследованных районов.

Выполненные работы подтвердили, что проведение детальных батиметрических промеров является необходимой процедурой перед проведением любых научных исследований, так как имеющиеся в настоящее время в свободном доступе

навигационные карты и генеральные модели рельефа морского дна не обеспечивают необходимой точности измерений и могут использоваться только для предварительного выбора районов работ.

Авторы выражают благодарность экипажу НИС “Ашамба” за помощь в проведении работ. Исследования выполнялись в рамках темы Государственного задания ИО РАН № 0128-2021-0005 при поддержке гранта РФФИ и Министерства образования Краснодарского края № 19-45-230012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никифоров С.Л., Кошель С.М., Сорохтин Н.О., Козлов Н.Е. Цифровые модели рельефа дна и некоторые возможности их морфометрического анализа // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18. № 2. С. 287–294.
2. Колочкина Г.А., Сергеева Н.Г., Сёмин В.Л., Любимов И.В., Подымов О.И., Басин А.Б., Островский А.Г. Связь структуры донных сообществ нижних границ оксифильной зоны Черного моря с вертикальной стратификацией кислорода и геоморфологией шельфа // В сборнике: Геология морей и океанов. Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. 2019. С. 143–147.
3. Барковская М.Г. Закономерности распределения донных осадков на шельфе советских берегов Чёрного моря // Труды Института Океанологии. АН СССР. 1961. Т. 53. С. 123–152.
4. Dmitrevskiy N. N., Ananyev R. A. Engineering Geophysical Studies in the Black Sea aboard the R/V Ashamba in 2017 // Oceanology. 2019. V. 59. № 2.

- Р. 290–291.
<https://doi.org/10.1134/S0001437019020061>
5. Евсюков Ю.Д., Руднев В.И. Рельефообразующие факторы преобразования материковой окраины вблизи Геленджика. // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 3. С. 97–109.
 6. Евсюков Ю.Д. Геоморфологическая характеристика и история развития притаманской материковой окраины // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2007. № 2. С. 86–97.
 7. Каплин П.А., Шербаков Ф.А. Реконструкция палеогеографических обстановок на шельфе в позднечетвертичное время // Океанология. 1986. Т. 26. № 6. С. 976–980.
 8. GEBCO Bathymetric Compilation Group 2020. The GEBCO_2020 Grid – a continuous terrain model of the global oceans and land. British Oceanographic Data Centre, National Oceanography Centre, NERC, UK. doi:10/dtg3.

Modern Mapping of the Seabed Relief Using the Example from the Ne Black Sea

N. N. Dmitrevsky^{a, #}, R. A. Ananiev^a, G. A. Kolyuchkina^a, U. V. Simakova^a, V. O. Mokievsky^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: nnd2008@rambler.ru*

Data on seafloor bathymetry are necessary for marine geology and geomorphology, cartography and paleogeography, geoecology and hydroacoustics, as well as other applied research areas. Bathymetric surveys within the framework of the 5th stage of the comprehensive coastal-marine expedition “Black Sea” on the R/V “Ashamba” in 2020 were carried out to solve the task of monitoring of coastal bottom communities at two detailed study sites – near the Cape Maliy Utrish and near the Golubaya Bay. The main reason for the research was the significant discrepancy between the bathymetric data obtained at the control points and the navigational charts and data from bathymetric models. The conducted work allowed clarifying the structure of the seabed relief of the study areas.

Keywords: bathymetry, multibeam echo sounder, digital seabed relief models