

УДК 528.9

DOI: 10.22389/0016-7126-2021-967-1-13-22

Оценка точности общедоступных цифровых моделей рельефа дна океанов на примере участков покрытия многолучевой съемкой Норвежского и Баренцева морей

© Абрамова А. С., 2021

Геологический институт РАН
119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1
abramanastas@gmail.com

Выполнена оценка точности общедоступных батиметрических цифровых моделей рельефа дна океанов: GEBCO_08, SRTM30_Plus, Global Topography – на шести полигонах съемок многолучевым эхолотом. Независимые цифровые модели рельефа Геологического института РАН использованы в качестве эталона точности. Для оценки точности разработан алгоритм подсчета разности значений глубин между цифровыми моделями рельефа, построенными в разных картографических проекциях. В результате выявлено, что на четырех полигонах цифровая модель рельефа GEBCO_08 более точная. Наблюдаемые различия в точности цифровых моделей рельефа связаны: с ошибкой в исходных данных цифровых моделей рельефа Global Topography и SRTM30_Plus, с лучшим покрытием исходными данными в модели GEBCO_08, с низкой точностью предсказанных по гравитационным данным глубин для цифровых моделей рельефа Global Topography и SRTM30_Plus на шельфе и континентальном склоне.

Многолучевой эхолот, статистические характеристики, точность, цифровая модель рельефа, GEBCO_08, Global Topography, IBCAO, SRTM30_Plus.

Для цитирования: Абрамова А. С. Оценка точности общедоступных цифровых моделей рельефа дна океанов на примере участков покрытия многолучевой съемкой Норвежского и Баренцева морей // Геодезия и картография. – 2021. – № 1. – С. 13–22. DOI: 10.22389/0016-7126-2021-967-1-13-22

Введение

Батиметрические цифровые модели рельефа (ЦМР) обеспечивают основу для комплексных морских исследований: геоморфологических, геолого-геофизических, биологических, экологических и океанографических. Список прикладных задач, решение которых невозможно без знания рельефа дна, включает расширение экономических зон (границы континентального шельфа), обеспечение безопасности навигации, разведку минеральных и биологических ресурсов, планирование подводных инженерных работ, управление рыболовством, изучение биоразнообразия, прогнозирование оползней, моделирование воздействия цунами и др.

Общедоступные глобальные и региональные батиметрические ЦМР – это компиляция данных, для которых характерны нерегулярная плотность распределения промеров глубин и существенные различия в пространственном разрешении и точности инструментов измерений. Изученность рельефа дна Мирового океана не обеспечивает необходимую точность для большинства морских приложений: около 80 % площади Мирового океана не откартографировано до разрешения 1 км [15].

На данный момент существует ряд общедоступных глобальных и региональных ЦМР, которые с той или иной достоверностью, точностью и детальностью отобража-

ют рельеф дна Северного Ледовитого океана. К ним, в частности, относятся ETOPO1 [4], Global Topography [16], GEBCO 1 min [6], GEBCO_08 [7], GEBCO_2014 [18], SRTM30_Plus [5], SRTM15_Plus [17], IBCAO 2.0 [11], IBCAO 3.0 [12] и др. Обширный список существующих моделей осложняет пользователям выбор ЦМР для конкретных задач и применения в качестве основы для математико-картографического моделирования.

Точность любой ЦМР зависит от ряда факторов, таких как точность, плотность и распределение исходных данных, сложность моделируемого рельефа, разрешение сетки и метод интерполяции [8]. Таким образом, точность модели не измеряется одним параметром, она пространственно изменчива, как и факторы, которые ее определяют. Работы по оценке точности ЦМР морского дна ограничены единичными частными исследованиями, которые затрагивают тот или иной ее аспект [2, 14].

Используемые данные

В работе оценена точность трех общедоступных батиметрических ЦМР, которые описывают рельеф морского дна в Арктике: GEBCO_08, SRTM30_Plus, Global Topography. Тестируемые модели имеют ряд различий: метод построения, регион

покрытия, формат, пространственное разрешение, проекция, основные источники исходных данных (табл. 1). Модели разделены в зависимости от исходных данных: к типу А относится ЦМР GEBCO_08 (севернее 64° с. ш.), основанная исключительно на акустических данных и построенная по базе IBCAO (International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean – Международная батиметрическая карта Северного Ледовитого океана), пробелы между измерениями глубин заполнены интерполяцией сплайном; к типу Б – ЦМР Global Topography и SRTM30_Plus, основанные на комбинировании акустических данных с предсказанным рельефом по гравитационным аномалиям, они имеют практически единую базу данных, построены в разных картографических проекциях, с различным разрешением.

Независимые ЦМР морского дна высокого разрешения и точности, полученные в результате съемки многолучевым эхолотом (МЛЭ) в Норвежском, Гренландском и Баренцевом морях, приняты в работе в качестве эталона точности. Съемка МЛЭ выполнена Геологическим институтом РАН (ГИН РАН) в ходе 24–26-го рейсов научно-исследовательского судна «Академик Николай Страхов» в 2006–2008 гг. при непосредственном участии автора [1].

Таблица 1

Основные характеристики общедоступных батиметрических ЦМР
Table 1. Main characteristics of publicly available bathymetry DTMs

ЦМР	Разрешение сетки	Формат	Проекция, тип сетки, система координат	Источник исходных данных
GEBCO_08, версия 0091120	30" на пиксель	NetCDF	ССТ WGS 1984	Предсказанный рельеф по ЦМР SRTM30_Plus южнее 64° с. ш.; ЦМР IBCAO для 64–90° с. ш.
Global Topography, версия 13.1	1' по меридиану на пиксель	Бинарный (binary); GIF	Проекция Меркатора GMT (сферическая модель Земли)	База данных IBCAO 64° с. ш. – 80,738° с. ш.; модель гравитационного поля Земли, версия 18.1
SRTM30_Plus, версия 6.0	30" на пиксель	NetCDF; XYZ	ССТ WGS 1984	Модель гравитационного поля Земли, версия 18.1; база данных IBCAO севернее 80° с. ш.

Примечание. ССТ – сетка сфероидических трапеций с равным угловым шагом по широте и долготе, образуемая точками пересечения параллелей и меридианов.

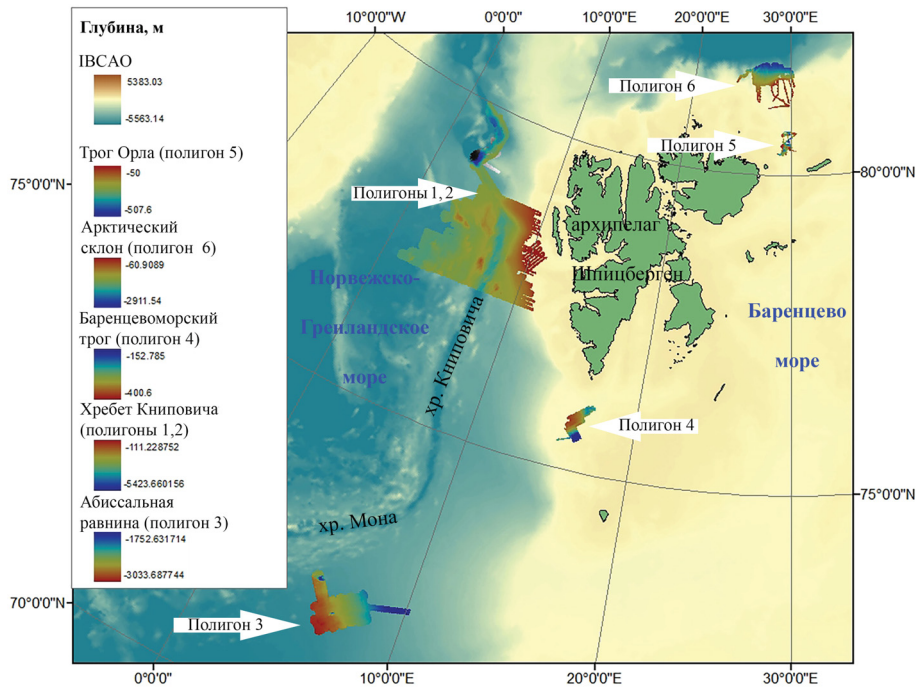


Рис. 1. Местоположение ЦМР ГИН РАН и полигонов исследования
Fig. 1. Overview map of the location of GIN RAS multibeam grids and corresponding study polygons

При построении тестируемых версий общедоступных батиметрических ЦМР не были использованы ЦМР ГИН РАН, поэтому последние и взяты за эталон точности. Местоположение площадных съемок МЛЭ определило район исследования в настоящей работе (рис. 1).

Сбор данных выполнен с помощью гидроакустической системы RESON, включающей: глубоководный (SeaBat 7150, 12 кГц) и мелководный (SeaBat-8111, 100 кГц) эхолоты; GPS; сенсоры движения и гирокомпас, объединенные в приборе OCTANS; датчик скорости звука SVP-70 антенн эхолотов; программный комплекс RESON PDS 2000. Постобработка данных включала удаление грубых ошибок и боковых лучей, внесение соответствующих поправок за скорость звука и визуальный контроль качества. На основе полученного материала при помощи пакета Golden Software Surfer с использованием алгоритма inverse distance to power построены шесть полигональных ЦМР ГИН РАН в проекциях: UTM 32N – полигоны 1–3, UTM 37N – полигоны 4–6. Шаг сетки ЦМР зависит от полигона съемки: 100 м – полигоны 1–3, 50 м – полигоны 4 и 6, 10 м – полигон 5.

Заявленная точность съемки соответствует категории 2 Стандартов Международной гидрографической организации на гидрографические съемки [9], однако рассчитанная максимальная неопределенность (допустимая погрешность) определения места и глубины показала, что съемка более точная. В данной работе не освещена методика оценки точности съемки МЛЭ ГИН РАН, приведены только результаты. Согласно расчетам, максимальная суммарная перенесенная неопределенность (СПН) измерений глубин МЛЭ ГИН РАН составила 1,85 % глубины с 95%-ной доверительной вероятностью (для крайних лучей МЛЭ); средняя рассчитанная СПН – 1,05 % глубины с 95%-ной доверительной вероятностью.

Для проверки эталонных ЦМР ГИН РАН на наличие систематических ошибок проведен анализ невязок с использованием независимых данных МЛЭ. Для расчета разности глубин взяты материалы съемок МЛЭ, выполненных во время рейсов исследовательских ледоколов Healy (США, экспедиция HLY 0503) и Oden (Швеция, экспедиции SAT 0809, LOMROG-2007), в местах

пересечения со съемками ГИН РАН. Систематических расхождений съемки МЛЭ ГИН РАН с независимыми данными выявлено не было, значения статистических характеристик разности глубин находятся в пределах СПН измерений глубин МЛЭ ГИН РАН.

Методика

В работе использован пакет программ Generic Mapping Tools (GMT) с открытым кодом для конвертации, импорта, обработки (фильтрация, интерполяция и др.) и отображения пространственных данных. Выбор GMT связан с тем, что ЦМР Global Topography представлена в бинарном формате и в проекции Меркатора GMT (сферическая модель Земли), остальные ЦМР, задействованные в работе, представлены в том числе в формате GMT netCDF. Точность тестируемых ЦМР и исходных данных, по которым они построены, оценены по критерию стандартного отклонения и среднего арифметического расхождения (ошибок) значений глубин между эталонными и тестируемыми ЦМР.

Тестируемые ЦМР и эталонные ЦМР ГИН РАН построены в разных картографических проекциях и с не совпадающими по размерам и ориентации ячейками. Для подсчета разницы глубин между ЦМР с несовпадающими ячейками разработан алго-

ритм, направленный на сохранение значений в тестируемых ЦМР неизменными (без дополнительной интерполяции). Алгоритм для подсчета разности значений глубин между тестируемыми и эталонными ЦМР реализован в программе GMT и включает следующие шаги: значение каждой ячейки в ЦМР ГИН РАН конвертируется в точечное значение XYZ; значения XYZ перепроецируются в проекцию тестируемой ЦМР; значения XYZ усредняются по ячейке ЦМР в соответствующей проекции; каждому значению в тестируемой ЦМР приписывается усредненное значение из ЦМР ГИН РАН с помощью инструмента *gdtrack*; считается разность значений глубин для каждой ячейки ЦМР. Схематическое изображение двух регулярных сеток данных *A* и *B* различных проекций и разрешения представлено на рис. 2, а; наложение сеток и несовпадение ячеек в некотором проекционном пространстве показано на рис. 2, б; при отображении ячеек сетки *B* в качестве точечных значений глубин Z_B они могут быть перепроецированы в проекцию сетки *A* (рис. 2, в). Значения глубин Z_B усредняются по ячейке сетки *A* в соответствующей проекции, каждому значению в сетке *A* приписывается усредненное значение из сетки *B*, разница между двумя регулярными сетками данных вычисляется как разница между \bar{Z}_B и Z_{A1} .

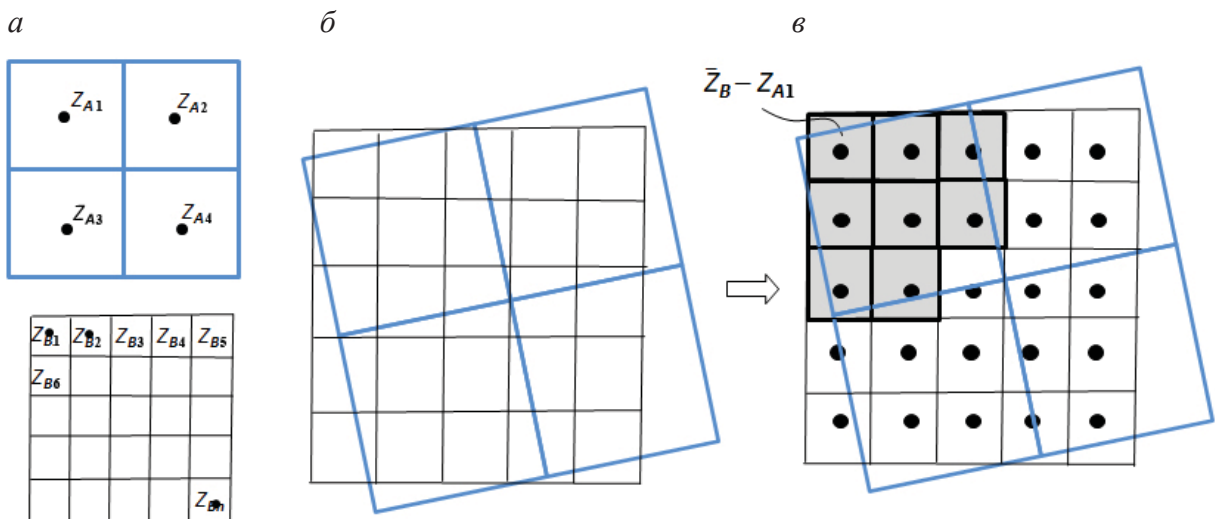


Рис. 2. Схема алгоритма расчета разности глубин между ЦМР различного разрешения
 Fig. 2. Method of depth difference computation for datasets of different resolutions

Результаты

Информация об основных источниках исходных данных для построения тестируемых ЦМР собрана из доступной документации, публикаций и личной корреспонденции с авторами ЦМР. Модели GEBCO_08, Global Topography и SRTM30_Plus построены в основном по базе данных ИВСаО [11]; автору база данных ИВСаО была предоставлена Дэвидом Сэндвеллом (Калифорнийский университет в Сан-Диего) в том формате, в котором она вошла в ЦМР SRTM30_Plus – в виде осредненных значений по ячейке ЦМР SRTM30_Plus. Исходные данные для ЦМР Global Topography закодированы в глубинах ЦМР в виде нечетных значений. Таким образом, оценивали точность осредненных значений исходных данных.

На полигонах съемки МЛЭ представлены участки морского дна с разными глубинами и морфологическими типами рельефа (см. рис. 1): срединно-океанический хребет Книповича (полигоны 1 и 2); абиссальная равнина Норвежского бассейна (полигон 3); шельфовая равнина Баренцева моря – Баренцевоморский трог (полигон 4) и трог Орла (полигон 5); арктический континентальный склон (полигон 6). Также полигонам присущи различные: тип исходных данных и плотность покрытия ими, степень расчлененности рельефа (табл. 2), корреляция между рельефом и гравитационным полем, – что отражается на точности ЦМР.

Точность исходных данных ЦМР GEBCO_08 и Global Topography оценена только на четырех из шести полигонах

в связи с недоступностью исходных данных для остальных двух. Каждый полигон представлен одним или несколькими типами исходных данных, описание которых взято из работ [10, 11]. Источниками исходных данных для построения ЦМР GEBCO_08 и Global Topography послужили: съемка МЛЭ в ходе рейсов судна Polarstern (Германия) [13] (полигон 1), одноручевые съемки из базы Национального центра геофизических данных США (NGDC – National Geophysical Data Center), материалы Норвежской гидрографической службы (NHS) (полигон 2) [10], съемки МЛЭ Норвежского нефтяного директората (NPD) [11] (полигон 3), точечные промеры NHS (полигон 4). Помимо этого, при построении ЦМР GEBCO_08 на полигонах 2, 5 и 6 использованы оцифрованные изобаты карты «Центральный Арктический бассейн» масштаба 1 : 2 500 000 [3].

В идеале точность каждого источника данных должна оцениваться отдельно. Настоящее исследование из-за нехватки информации ограничено оценкой точности исходных данных по каждому полигону; точность оценена по критерию стандартного отклонения и среднего арифметического расхождения (ошибок) значений глубин между эталонными и тестируемыми ЦМР. На гистограммах точности исходных данных (рис. 3) приведены средние арифметические значения (Сред.) и стандартные отклонения (Стд.) расхождения глубин между ЦМР ГИН РАН и исходными данными ЦМР GEBCO_08 (серый цвет), Global Topography (красный цвет).

Таблица 2

Характеристика основных параметров точности ЦМР по полигонам съемки
Table 2. The main quality defining parameters given for each polygon

Параметр	Полигон 1	Полигон 2	Полигон 3	Полигон 4	Полигон 5	Полигон 6
Средняя глубина, м	2700	2300	2800	350	340	60–2900
Степень расчлененности рельефа	Сильно расчлененный		Слабо расчлененный		Расчлененный	Слабо расчлененный
Покрытие исходными данными	Плотное		Относительно плотное	Нерегулярные единичные промеры	Точечное	Нерегулярные единичные промеры

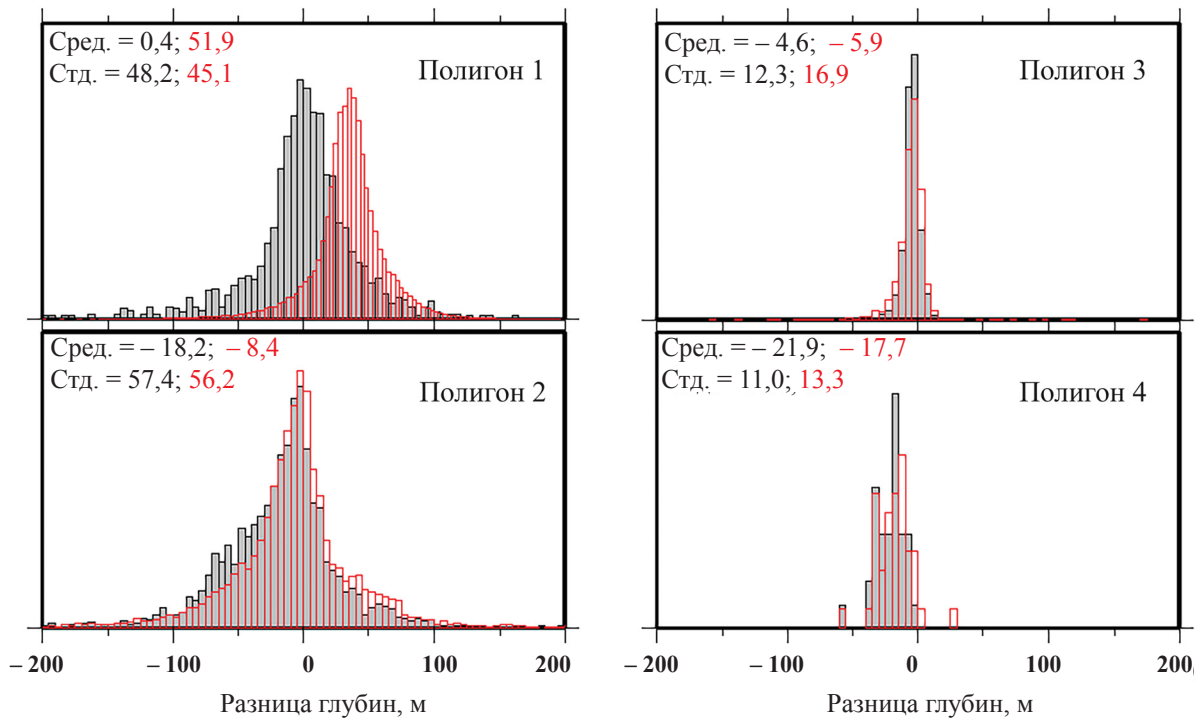


Рис. 3. Гистограммы распределения ошибок, м, в исходных данных для каждого полигона исследования

Fig. 3. Histograms of errors in source data, mean and standard deviation at the studied polygons, m

В результате выявлены:

систематическое расхождение, составляющее 50 м, между значениями глубин в ЦМР ГИН РАН и в исходных данных ЦМР Global Topography на полигоне 1. При построении ЦМР GEBCO_08 в ЦМР Polarstern была внесена поправка за скорость звука, а при создании ЦМР Global Topography использовано осредненное значение скорости звука 1500 м/с [13];

отрицательные ошибки в исходных данных ЦМР Global Topography и GEBCO_08 на полигонах 2 и 4, что свидетельствует о том, что исходные данные NHS показывают меньшие глубины, чем ЦМР ГИН РАН. Представление глубин в сторону меньших значений характерно для гидрографических данных;

разные значения глубин ЦМР Global Topography и GEBCO_08 для одного и того же источника данных – однолучевых съемок из базы данных NGDC (обнаружены в результате построения карт расхождений глубин, которые в данной работе не представлены), а также незначительное расхождение глубин в исходных данных ЦМР Global Topography

и GEBCO_08 на полигоне 3, хотя для обеих моделей таковыми в основном служили съемки МЛЭ NPD. Это свидетельствует о разном подходе к обработке одних и тех же данных до включения их в ЦМР.

Оценка точности ЦМР GEBCO_08 и SRTM30_Plus проведена на шести полигонах, а ЦМР Global Topography – на пяти (покрытие ЦМР Global Topography ограничено 80,7° с. ш.) (рис. 4). Точность ЦМР GEBCO_08 сравнима с точностью ЦМР Global Topography и SRTM30_Plus на полигонах 2 и 3, а различия между ЦМР типа А и Б наблюдаются на полигонах 1, 4–6. На полигоне 1 они связаны с вышеописанной ошибкой в исходных данных в моделях Global Topography и SRTM30_Plus. Наблюдаемое смещение 1,9 % глубины в ЦМР Global Topography можно считать значительным по сравнению с максимальной СПН измерений глубин МЛЭ ГИН РАН. Имеется смещение значений глубин во всех трех ЦМР на полигонах 2 и 4 (соответственно 1–1,5 % и 6,7–8,2 % глубины в зависимости от ЦМР), что также связано с вышеописанным смещением

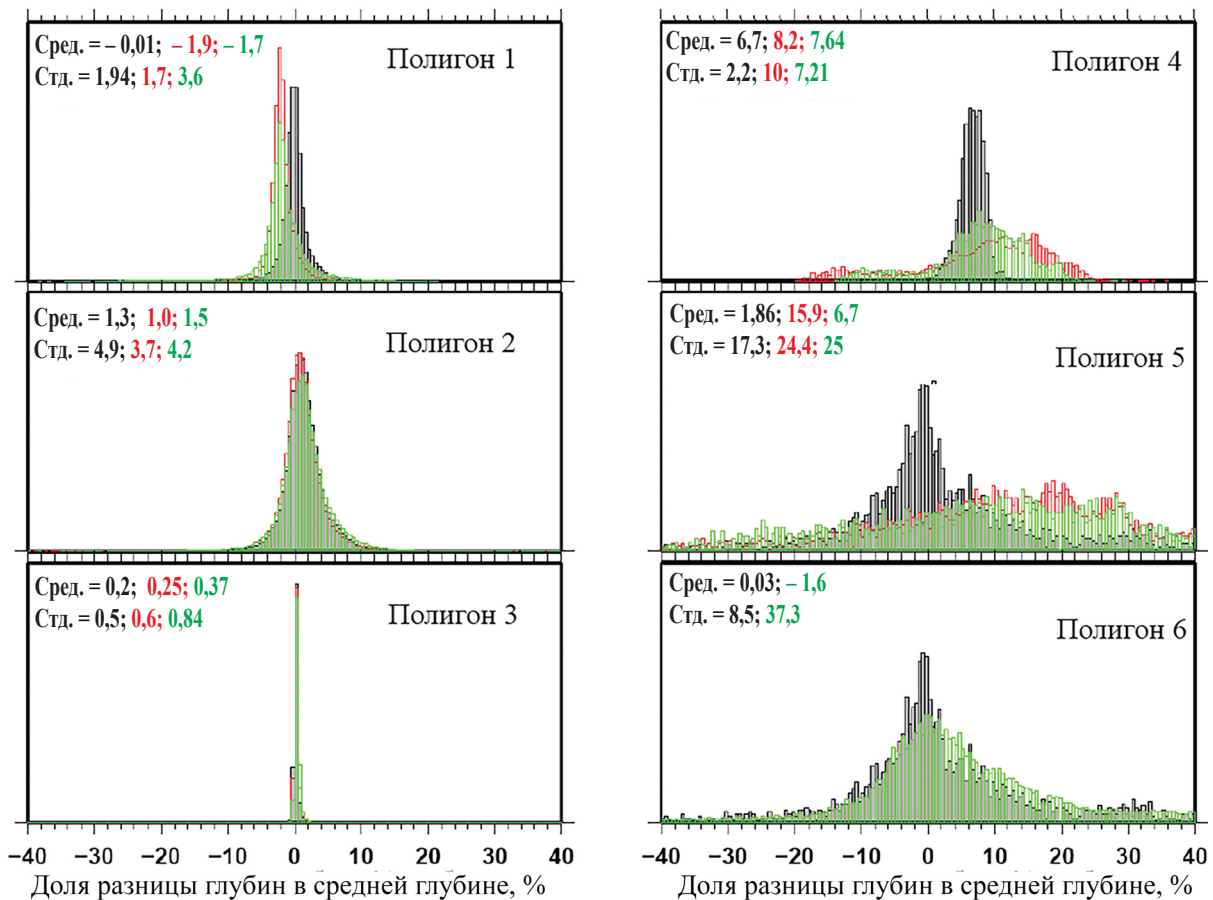


Рис. 4. Гистограммы распределения ошибок, %, в тестируемых ЦМР для каждого полигона исследования:

Сред. и Стд. – соответственно среднее арифметическое значение и стандартное отклонение расхождения глубин между эталонной ЦМР ГИН РАН и ЦМР GEBCO_08 (серый цвет), ЦМР GT (красный цвет), ЦМР SRTM30_Plus (зеленый цвет)

Fig. 4. Histograms of errors, %, in bathymetry grids at study polygons:

Сред. and Стд. – respectively, the arithmetic mean and standard deviation of the depth difference in the reference DEM GIN RAS and DEM GEBCO_08 (gray), DEM GT (red), DEM SRTM30_Plus (green)

в исходных данных (см. рис. 3, 4). На полигоне 2 смещение не значительное по сравнению с максимальной СПН измерений глубин МЛЭ ГИН РАН. На полигоне 4 наблюдается заметное увеличение статистических показателей ошибок для ЦМР типа Б по сравнению с показателями точности исходных данных, что свидетельствует о внедрении дополнительной ошибки через процесс интерполяции.

Для ЦМР GEBCO_08 наблюдается более узкое распределение ошибок по сравнению с ЦМР типа Б на полигонах 4, 5 и 6. Лучшие показатели ЦМР GEBCO_08 на полигоне 5 (шельфовая равнина, трог Орла) и 6 (арктический континентальный

склон) вызваны наличием дополнительных данных МЛЭ, которые не использованы в ЦМР типа Б. Другой фактор, влияющий на точность конечной батиметрической поверхности ЦМР, – метод интерполяции. При сравнении статистики точности исходных данных (см. рис. 3) и конечной ЦМР (см. рис. 4) наблюдается ухудшение статистических значений для ЦМР типа Б на полигонах 4–6. Значительные стандартные отклонения распределения разницы глубин для ЦМР типа Б достигают 25 % глубины на полигоне 5 и 37 % на полигоне 6, что говорит об ограничениях метода предсказанного по гравитационным данным рельефа для шельфовых участков и высоких широт.

Заключение

Проведена оценка точности ЦМР GEBCO_08, SRTM30_Plus и Global Topography, а также их исходных батиметрических данных на шести полигонах съемки МЛЭ ГИН РАН. Оценка точности включала расчет разности глубин между тестируемыми и независимыми эталонными ЦМР высокой точности. Сравнение в местах пересечения съемки МЛЭ ГИН РАН со съемкой МЛЭ из рейсов исследовательских ледоколов Healy и Oden показало высокую точность данных ГИН РАН.

Разработанный алгоритм для подсчета разности значений глубин между ЦМР, построенных в разных картографических проекциях, с не совпадающими по размерам и ориентации ячейками может быть использован для оценки точности любых ЦМР.

Анализируемые ЦМР разделены на два типа (А и Б) в зависимости от исходных данных. В результате выявлено, что ЦМР GEBCO_08 – более точная модель при оценке точности ЦМР на трех из шести полигонах, которые расположены в районе срединно-океанического хребта, шельфа и арктического континентального склона (полигоны 1, 5 и 6). Наблюдаемые различия в точности ЦМР связаны: с ошибкой в исходных данных в моделях типа Б в районе полигона 1, с лучшим покрытием исходными данными в ЦМР GEBCO_08 на полигонах 5 и 6 (наличие материалов съемок МЛЭ), с низкой точностью предсказания глубин по гравитационным данным для шельфовых участков для ЦМР типа Б на полигонах 4–6 (шельф и континентальный склон). Схожую точность на всех полигонах имеют ЦМР SRTM30_Plus и Global Topography, за исключением полигонов 4 и 5, на которых точность SRTM30_Plus несколько выше. Наблюдаемое расхождение глубин для всех трех ЦМР на полигонах 2 и 4 вызвано наличием исходных данных NHS.

Таким образом, показано, что на точность конечной батиметрической поверхности ЦМР влияет сочетание точности исходных данных и плотности покрытия ими, а также метод интерполяции.

Автор выражает благодарность коллегам лаборатории геоморфологии и тектоники дна океанов ГИН РАН. Работа выполнена в рамках лабораторной темы «Геологические опасности в Мировом океане и их связь с рельефом, геодинамическими и тектоническими процессами» (государственная регистрация № 0135-2019-0076), а также при поддержке грантов РФФИ № 18-05-70040 «Эволюция литосферы западной Арктики: процессы и механизмы, направленность развития, природные ресурсы и геологические опасности», № 18-35-20060 «Рельеф и геоморфологические процессы районов ресурсного освоения южной части Баренцево-морского шельфа».

The author expresses his gratitude to colleagues of the Laboratory of Geomorphology and Tectonics of the Ocean Floor at the GIN RAS. The work was carried out within the framework of the laboratory theme: “Geological hazards in the World Ocean and their relation to the relief, geodynamic and tectonic processes” (state registration № 0135-2019-0076), as well as with the support of the RFBR grant № 18-05-70040 “Lithospheric evolution in the Western Arctic: processes and mechanisms, development orientation, natural resources and geological hazards”, № 18-35-20060 “Sea floor topography and geomorphological processes in resource development areas of the southern Barents sea shelf”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайончек А. В., Брекке Х., Соколов С. Ю., Мазарович А. О., Добролюбова К. О., Ефимов В. Н., Абрамова А. С., Зарайская Ю. А., Кохан А. В., Мороз Е. А., Пейве А. А., Чамов Н. П., Ямпольский К. П. Строение зоны перехода континент – океан северо-западного обрамления Баренцева моря (по данным 24, 25 и 26 рейсов НИС «Академик Николай Страхов», 2006–2009 гг.) // Строение и история развития литосферы. Вклад России в Международный полярный год. – Т. 4. – М.: Paulsen, 2010. – С. 111–157.
2. Никифоров С. Л., Кошель С. М., Фроль В. В., Попов О. Е., Левченко О. В. О методах построения цифровых моделей рельефа дна (на примере Белого моря) // Океанология. – 2015. – Т. 55. – № 2. – С. 326–336.
3. Центральный Арктический бассейн [карты]. Масштаб 1 : 2 500 000, по параллели 75°. Проекция стереографическая: 91115. – СПб.: ГУНПО МО РФ, 2002.
4. Amante C., Eakins B. W. ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. Boulder, Colorado, 2009, 19 p.
5. Becker J. J., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Braud J., Binder B., Depner J., Fabre D., Factor J., Ingalls S., Kim S.-H.,

Ladner R., Marks K., Nelson S., Pharaoh A., Sharman G., Trimmer R., Rosenberg J., Wallace G., Weatherall P. (2009) Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30 PLUS. *Marine Geodesy*, 32:4, pp. 355–371. DOI: 10.1080/01490410903297766.

6. BODC. The GEBCO 1 minute grid, Centenary edition of the GEBCO digital atlas [CD-ROM]. Liverpool: British Oceanographic Data Centre, 2003.

7. BODC. The GEBCO_08 Grid. Liverpool: British Oceanographic Data Centre, 2008.

8. Florinsky I. V. Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2016, 486 p.

9. International Hydrographic Organization (IHO) standards for hydrographic surveys. Special Publication 44, 5 ed. Monaco: IHO, 2008.

10. Jakobsson M., Calder B., Mayer L. (2002) On the effect of random errors in gridded bathymetric compilations. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 107, B12, pp. 1–14. DOI: 10.1029/2001JB000616.

11. Jakobsson M., Macnab R., Mayer L., Anderson R., Edwards M., Hatzky J., Schenke H. W., Johnson P. (2008) An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses. *Geophysical Research Letters*, 35, L07602. DOI: 10.1029/2008GL035320.

12. Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al. (2012) The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0. *Geophysical Research Letters*, 39, L12609, p. 1–5. DOI: 10.1029/2012GL052219.

13. Klenke M., Schenke H. W. (2002) A new bathymetric model for the central Fram Strait. *Marine Geophysical Research*, 23, 4, pp. 367–378. DOI: 10.1023/A:1025764206736.

14. Marks K. M., Smith W. H. F. (2006) An evaluation of publicly available global bathymetry grids. *Marine Geophysical Research*, 27, 1, pp. 19–34. DOI: 10.1007/s11001-005-2095-4.

15. Mayer L., Jakobsson M., Allen G., Dorschel B., Falconer R., Ferrini V., Lamarche G., Snaith H., Weatherall P. (2018) The Nippon Foundation – GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World's Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, 8, 2, pp. 1–18. DOI: 10.3390/geosciences8020063.

16. Smith W. H. F., Sandwell D. T. (1997) Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. *Science*, 277, pp. 1956–1962.

17. Tozer B., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Olson C., Beale J. R., Wessel P. (2019) Global bathymetry and topography at 15 arc sec: SRTM15 PLUS. *Earth and Space Science*, 6, pp. 1–18. DOI: 10.1029/2019EA000658.

18. Weatherall P., Marks K. M., Jakobsson M., Schmitt T., Tani S., Arndt J. E., Rovere M., Chayes D., Ferrini V., Wigley R. (2015) A new digital bathymetric model of the world's oceans. *Earth and Space Science*, 2, pp. 331–345.

Accuracy assessment of publicly available digital elevation models of the ocean floor, at the polygons of multibeam data coverage in the Norwegian and Barents Seas

Abramova A. S.

Geological Institute Russian Academy of Science
119017, Russia, Moscow, Pyzhevsky lane, 7
abramanastas@gmail.com

The accuracy of publicly available bathymetry grids such as GEBCO_08, SRTM30_Plus, and Predicted Topography is evaluated at six studied polygons of GIN RAS multibeam (MB) coverage. High-resolution and accuracy, independent GIN RAS MB grids are used as the ground truth. Comparison of GIN RAS MB grids with USCGC “Healy” and RV “Oden” gridded MB data revealed no systematic errors in the GIN RAS data. In order to assess the accuracy an algorithm was developed to calculate depth difference between grids built in different map projections with grid cells that do not match. The assessment revealed that GEBCO_08 is more accurate than S&S over three of the six polygons, which include mid oceanic ridge, shelf and continental slope areas (polygons 1, 5 and 6). The observed differences in the accuracy between GEBCO_08 and S&S are due to the source data accuracy at polygon 1, better source data coverage in GEBCO_08 for polygons 5 and 6 (MB data), and poor performance of the interpolation in the shelf areas for S&S at polygons 4, 5 and 6. These results show that morphology of the seafloor, source data accuracy and coverage as well, as interpolation method affect the accuracy of the final output bathymetry surface.

Accuracy, digital bathymetry model, GEBCO_08, Global Topography, IBCAO, multibeam data, SRTM30_Plus, statistical characteristics.

For citations: Abramova A. S. (2021) Accuracy assessment of publicly available digital elevation models of the ocean floor, at the polygons of multibeam data coverage in the Norwegian and Barents Seas. *Geodezia i kartografiya*, 967 (1), pp. 13–22 (In Russian). DOI: 10.22389/0016-7126-2021-967-1-13-22

REFERENCES

1. Zaionchek A. V., Brekke Kh., Sokolov S. Yu., Mazarovich A. O., Dobrolyubova K. O., Efimov V. N., Abramova A. S., Zaraiskaya Yu. A., Kokhan A. V., Moroz E. A., Peive A. A., Chamov N. P., Yampol'skii K. P. Stroenie zony perekhoda kontinent – okean severo-zapadnogo obramleniya Barentseva morya (po dannym 24, 25 i 26 reisov NIS “Akademik Nikolai Strakhov”, 2006–2009 gg.). Stroenie i istoriya

razvitiya litosfery. Vklad Rossii v Mezhdunarodnyi polyarnyi god. T. 4. Moskva: Paulsen, 2010, pp. 111–157 (In Russian).

2. Nikiforov S. L., Koshel' S. M., Frol' V. V., Popov O. E., Levchenko O. V. O metodakh postroeniya tsifrovyykh modelei rel'efa dna (na primere Belogo morya). *Okeanologiya*, 2015, 55, 2, pp. 326–336 (In Russian).

3. Tsentral'nyi Arkticheskiy bassein [karty]. Masshtab 1 : 2 500 000, po paralleli 75°. Proektsiya stereograficheskaya:

91115. Sankt-Peterburg: Glavnoe upravlenie navigatsii i okeanografii Ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii, 2002 (In Russian).

4. *Amante C., Eakins B. W.* ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24. Boulder, Colorado, 2009, 19 p.

5. *Becker J. J., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Braud J., Binder B., Depner J., Fabre D., Factor J., Ingalls S., Kim S.-H., Ladner R., Marks K., Nelson S., Pharaoh A., Sharman G., Trimmer R., Rosenburg J., Wallace G., Weatherall P.* (2009) Global Bathymetry and Elevation Data at 30 Arc Seconds Resolution: SRTM30_PLUS. *Marine Geodesy*, 32:4, pp. 355–371. DOI: 10.1080/01490410903297766.

6. *BODC.* The GEBCO 1 minute grid, Centenary edition of the GEBCO digital atlas [CD-ROM]. Liverpool: British Oceanographic Data Centre, 2003.

7. *BODC.* The GEBCO 08 Grid. Liverpool: British Oceanographic Data Centre, 2008.

8. *Florinsky I. V.* Digital Terrain Analysis in Soil Science and Geology. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2016, 486 p.

9. *International Hydrographic Organization (IHO)* standard for hydrographic surveys. Special Publication 44, 5 ed. Monaco: IHO, 2008.

10. *Jakobsson M., Calder B., Mayer L.* (2002) On the effect of random errors in gridded bathymetric compilations. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*, 107, B12, pp. 1–14. DOI: 10.1029/2001JB000616.

11. *Jakobsson M., Macnab R., Mayer L., Anderson R., Edwards M., Hatzky J., Schenke H. W., Johnson P.* (2008)

An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses. *Geophysical Research Letters*, 35, L07602. DOI: 10.1029/2008GL033520.

12. *Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al.* (2012) The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0. *Geophysical Research Letters*, 39, L12609, p. 1–5. DOI:10.1029/2012GL052219.

13. *Klenke M., Schenke H. W.* (2002) A new bathymetric model for the central Fram Strait. *Marine Geophysical Research*, 23, 4, pp. 367–378. DOI: 10.1023/A:1025764206736.

14. *Marks K. M., Smith W. H. F.* (2006) An evaluation of publicly available global bathymetry grids. *Marine Geophysical Research*, 27, 1, pp. 19–34. DOI: 10.1007/s11001-005-2095-4.

15. *Mayer L., Jakobsson M., Allen G., Dorschel B., Falconer R., Ferrini V., Lamarche G., Snaith H., Weatherall P.* (2018) The Nippon Foundation – GEBCO Seabed 2030 Project: The Quest to See the World’s Oceans Completely Mapped by 2030. *Geosciences*, 8, 2, pp. 1–18. DOI: 10.3390/geosciences8020063.

16. *Smith W. H. F., Sandwell D. T.* (1997) Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. *Science*, 277, pp. 1956–1962.

17. *Tozer B., Sandwell D. T., Smith W. H. F., Olson C., Beale J. R., Wessel P.* (2019) Global bathymetry and topography at 15 arc sec: SRTM15_PLUS. *Earth and Space Science*, 6, pp. 1–18. DOI: 10.1029/2019EA000658.

18. *Weatherall P., Marks K. M., Jakobsson M., Schmitt T., Tani S., Arndt J. E., Rovere M., Chayes D., Ferrini V., Wigley R.* (2015) A new digital bathymetric model of the world’s oceans. *Earth and Space Science*, 2, pp. 331–345.