

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-685-693

## ANALYSIS OF THE ACCURACY OF INTERPOLATION METHODS IN THE PROCESS OF BATHYMETRIC MAPPING OF INLAND WATERWAYS

**E. A. Ratner**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

*The accuracy of various interpolation methods, used by specialists when working manually or technically implemented in software when plotting bottom relief on navigation maps of inland waterways, namely nearest neighbor interpolation, triangle based interpolation, bilinear interpolation and biquadratic spline interpolation, is analyzed in the paper. The study was conducted during the process of creating an electronic navigational chart of the Northern Dvina River. The aim of the study is to determine the interpolation method that guarantees the minimum deviation of the calculated values from the original values and the rendering of the least number of artefacts. In existing cartographic and geoinformation software, only interpolation methods based on regular grid calculations are used. In this study interpolation is performed on an irregular grid since depth sounding is carried out using a single beam echo sounder, and the depth grids obtained using this type of equipment are always irregular. This makes it possible to ensure the highest possible accuracy of the initial measurement during interpolation. The accuracy of the performed interpolation is verified by dividing all depths into two parts (longitudinal and transverse tacks) and calculating the depth values at longitudinal tacks using interpolation. The maximum discrepancies of up to 50 cm are detected when performing nearest neighbor interpolation. The minimum discrepancies of less than 10 cm are detected during biquadratic spline interpolation. According to the results of the study, biquadratic spline interpolation is the best method for building digital models of the bottom relief that can then be used to plot bathymetry on navigational charts.*

*Keywords: electronic navigational chart, inland waterways, accuracy of interpolation, interpolation, spline interpolation, bathymetry, depth contour charting.*

**For citation:**

Ratner, Elizaveta A. "Analysis of the accuracy of interpolation methods in the process of bathymetric mapping of inland waterways." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 13.5 (2021): 685–693. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-685-693.

**УДК 528.06**

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРИ НАНЕСЕНИИ РЕЛЬЕФА ДНА НА НАВИГАЦИОННЫЕ КАРТЫ ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

**Е. А. Ратнер**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*В статье выполнен анализ точности различных методов интерполяции, используемых специалистами при работе вручную или технически реализуемых в программном обеспечении при нанесении рельефа дна на навигационные карты внутренних водных путей, а именно интерполяция «методом ближайшего соседа», треугольная, билинейная интерполяции и биквадратная сплайн-интерполяция. Исследование выполнено при создании электронной навигационной карты реки Северная Двина. Целью исследования является определение метода интерполяции, гарантирующего минимальное отклонение рассчитанных значений от исходных и появление наименьшего количества артефактов. В существующих картографических и геоинформационных программах применяются только методы интерполяции, основанные на расчетах по регулярной сети. При выполнении данного исследования интерполяция проводилась на нерегулярной сети, поскольку промерные работы были выполнены с помощью одноручевого эхолота, а сеть глубин, полученная при помощи оборудования такого типа, всегда образует нерегулярную сеть. Это позволило в максимальной степени*

сохранить точность исходного промера при проводимой интерполяции. Проверка точности выполненной интерполяции проводилась способом разделения всех глубин на две части: продольные и поперечные галсы с последующим вычислением значений глубин на продольных галсах с помощью интерполяции. Максимальные расхождения до 50 см были выявлены при выполнении интерполяции «методом ближайшего соседа», минимальные расхождения менее 10 см — при выполнении биквадратной сплайн-интерполяции. По результатам исследования для построения цифровых моделей дна, на базе которых на навигационные карты наносится рельеф дна, рекомендован метод биквадратной сплайн-интерполяции.

*Ключевые слова:* электронная навигационная карта, внутренние водные пути, точность интерполяции, интерполяция, сплайн-интерполяция, рельеф дна, построение изобат.

**Для цитирования:**

Ратнер Е. А. Анализ точности методов интерполяции при нанесении рельефа дна на навигационные карты внутренних водных путей / Е. А. Ратнер // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 5. — С. 685–693. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-5-685-693.

---

### Введение (Introduction)

Одним из основных элементов нагрузки навигационной карты «является изображение рельефа дна в виде отметок глубин, изобат и внесмасштабных условных знаков. От полноты, точности и достоверности изображения рельефа зависят условия и результаты решения задачи безопасного судовождения, в том числе решение задач проработки перехода, выбора оптимального маршрута, маневрирования и управления судном в условиях минимального запаса под килем на мелководье» [1]. При достаточно разреженном промере, например, при выполнении гидрографических работ однолучевым эхолотом, для нанесения рельефа дна в пустующих межгалсовых областях проводится процедура интерполяции [2]. Глубины, полученные с помощью однолучевого эхолота, всегда образуют нерегулярную сеть [2].

В настоящее время в работе современного картографического программного обеспечения реализованы только методы интерполяции, основанные на расчетах по регулярной сети, поскольку использование регулярных сетей приводит к упрощению алгоритмов и сокращению расчетов, и, следовательно, требует меньших вычислительных мощностей ЭВМ. Нерегулярная сеть требует, как правило, больших вычислительных мощностей и более сложных алгоритмов, позволяя при этом сохранить точность исходного промера [2]. Обработка поверхности триангуляционной нерегулярной сети, из-за сложности ее структуры, несколько менее эффективна, чем обработка растровых данных<sup>1</sup>, однако использование для расчетов регулярных сетей приводит к погрешностям, размер которых зависит от степени упрощения. При работе вручную специалисты-картографы, напротив, всегда проводят интерполяцию на нерегулярной сети, однако работа выполняется «на глаз» [2].

Анализ применения различных методов интерполяции при построении цифровых моделей рельефа дна проводился неоднократно: [3], [4], [5], [6], [7] и др. Результаты оценки точности моделирования методом интерполяции показали, что биквадратные сплайн-методы позволяют создавать цифровые модели рельефа с наименьшими отклонениями [8]. Так, например, в статье И. В. Ююкина [9, С. 66] сделан вывод о том, что при создании морских навигационных карт «...при сравнительной характеристике линейного интерполирования с методами аппарата сплайн-функций предпочтение следует отдать кусочной аппроксимации...», поскольку «...оперирование с кусочными многозвенниками является эффективным с точки зрения проведения вычислений. Расчет сплайн-функций или значений ее производных сопряжен только с умножением и сложением, что обуславливает высокую результирующую точность. Кроме того, сплайн является гладкой функцией в смысле успешной дифференцируемости. Положительным аспектом применения сплайнов являются хорошая сходимости и вычислительная устойчивость расчетных сплайновых процедур» [10, С. 268].

*Цель проведенного в настоящей работе исследования* — выявить метод интерполяции, гарантирующий минимальное отклонение рассчитанных значений от исходных и появление при обработке данных наименьшего количества артефактов.

<sup>1</sup> Руководство пользователя ArcGIS [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/extensions/3d-analyst/fundamentals-of-3d-surfaces.htm> (дата обращения: 12.05.2020).

Задачи исследования:

1. Выбор способа проверки точности выполненной интерполяции и разделение исходных данных на расчетные и контрольные в соответствии с выбранным способом.
2. Выполнение интерполяции следующими методами:
  - метод ближайшего соседа;
  - треугольная интерполяция;
  - билинейная интерполяция;
  - биквадратная сплайн-интерполяция.
2. Анализ точности интерполяции, выполненной ранее указанными методами.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Подробное описание способов интерполяции *методом ближайшего соседа* билинейной и треугольной интерполяций приведено в [2].

Функция биквадратной сплайн-интерполяции имеет вид [1]:

$$f_{nm}(x_{nm}, y_{nm}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{nm}^i y_{nm}^j = z_{nm}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  — искомые коэффициенты;

$n$  — номера интерполируемых точек по строке ( $n = 1, 2, 3$ );

$m$  — номера интерполируемых точек по столбцу ( $m = 1, 2, 3$ );

$i$  — номера искомых точек по строке ( $i = 0, 1, 2$ );

$j$  — номера искомых точек по столбцу ( $j = 0, 1, 2$ );

$x_{nm}^i, y_{nm}^j$  — координаты интерполируемой точки в степени  $i$ ;

$z_{nm}$  — интерполируемое значение.

Для расчета искомых коэффициентов следующие формулы:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{11}(x_{11}, y_{11}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{11}^i y_{11}^j = z_{11}; \\ f_{12}(x_{12}, y_{12}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{12}^i y_{12}^j = z_{12}; \\ f_{13}(x_{13}, y_{13}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{13}^i y_{13}^j = z_{13}; \\ f_{21}(x_{21}, y_{21}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{21}^i y_{21}^j = z_{21}; \\ f_{22}(x_{22}, y_{22}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{22}^i y_{22}^j = z_{22}; \\ f_{23}(x_{23}, y_{23}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{23}^i y_{23}^j = z_{23}; \\ f_{31}(x_{31}, y_{31}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{31}^i y_{31}^j = z_{31}; \\ f_{32}(x_{32}, y_{32}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{32}^i y_{32}^j = z_{32}; \\ f_{33}(x_{33}, y_{33}) = \sum_{i=0}^2 \sum_{j=0}^2 a_{ij} x_{33}^i y_{33}^j = z_{33}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $A_{nm}$  — известные точки;

$x_{nm}, y_{nm}, z_{nm}$  —  $x_{11}^i, y_{11}^j, x_{12}^i, y_{12}^j, x_{13}^i, y_{13}^j, x_{21}^i, y_{21}^j, x_{22}^i, y_{22}^j, x_{23}^i, y_{23}^j, x_{31}^i, y_{31}^j, x_{32}^i, y_{32}^j, x_{33}^i, y_{33}^j$  — координаты известных точек;

$z_{11}, z_{12}, z_{13}, z_{21}, z_{22}, z_{23}, z_{31}, z_{32}, z_{33}$  — значения функций в известных точках.

Применение цифровых моделей рельефа дна (ЦМР), построенных на нерегулярной сети, для нанесения рельефа дна на электронные навигационные карты внутренних водных путей (ЭНК ВВП), впервые исследовано в статье [2]. Поскольку ранее подобные ЦМР не использовались для картографирования ВВП, возникла необходимость в оценке точности используемых методов интерполяции. Для исследования использовались данные промерных работ на участке реки Северная Двина, проводимые ФБУ «Севводпуть» в 2017 г. (на рис. 1 нанесены только продольные галсы). Промер выполнен однолучевым эхолотом. Масштаб промерных планшетов 1: 10000.

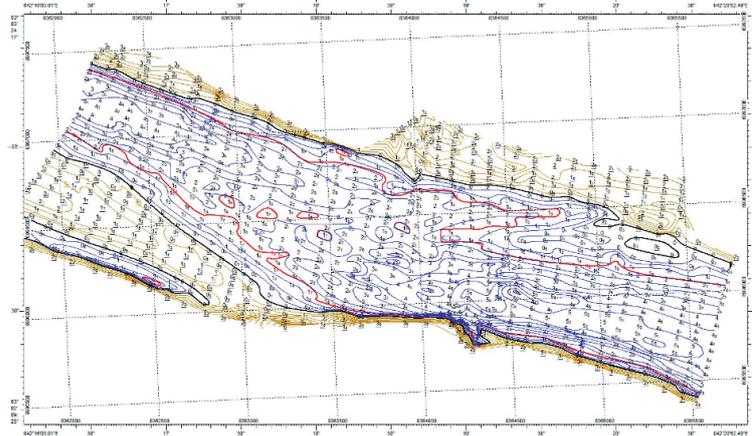


Рис. 1. Промерный планшет на участок р. Северная Двина (масштаб 1:10000)

Существует два основных способа проверки точности выполненной интерполяции [6]:

1. Выделение из существующего промера единичного значения глубины и вычисление этого значения математическими методами.
2. Разделение всех глубин на две части (например, в соотношении 70 % и 30 %) и вычисление второй группы глубин с помощью интерполяции.

Полученные результаты сравнивают с изначально отсеченными значениями [6]. Для проверки интерполяции, выполненной при построении ЦМР участка р. Северная Двина, был использован способ разделения всех глубин на две части (продольные и поперечные галсы) и выполнено вычисление значений глубин на продольных галсах с помощью интерполяции. Схема галсов и значения глубин на участке, где была выполнена интерполяция, приведены на рис. 2, а, схема продольных галсов и значения глубин, используемые для интерполяции, даны на рис. 2, б.

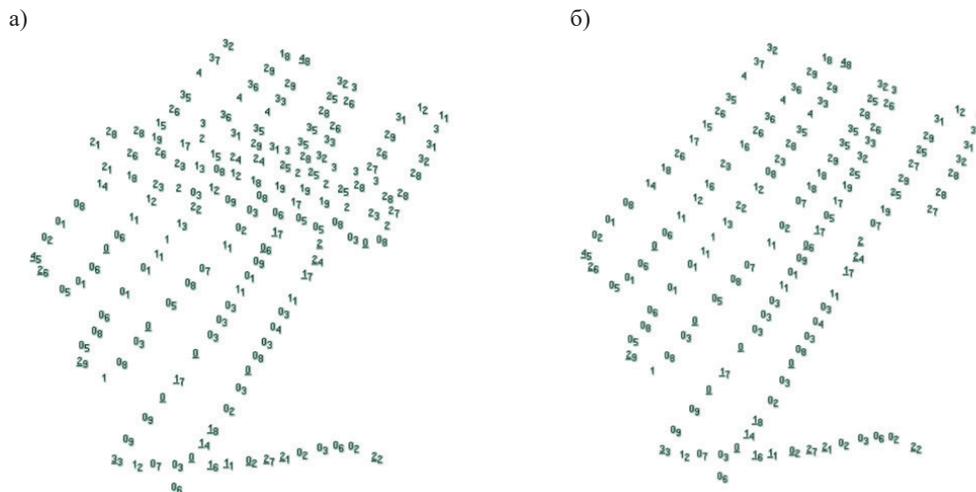


Рис. 2. Схемы галсов и значения глубин на участке р. Северная Двина:  
а — для контроля точности выполнения оценки точности интерполяции;  
б — для процесса интерполяции

Способ проверки точности интерполяции с помощью разделения всех глубин на две части и вычисления второй группы является оптимальным для проверки интерполяции промерных данных, поскольку непосредственно технология гидрографических работ требует выполнения контрольных галсов, а значит получения контрольных значений глубин.

### Результаты (Results)

Для контроля точности построения ЦМР рельефа дна р. Северная Двина последовательно выполнялись интерполяция *методом ближайшего соседа*, треугольная, билинейная интерполяция и биквадратная сплайн-интерполяция.

Результаты выполнения каждой интерполяции в отдельности были перенесены на планшеты, на которых отображены все изначально измеренные значения глубин (как с продольных, так и с поперечных галсов). Далее было выполнено сравнение значений, полученных с помощью интерполяции и с помощью произведенных непосредственно на участке водного пути гидрографических работ.

На рис. 3 показан фрагмент выполнения интерполяции *методом ближайшего соседа*. Расхождение измеренных и расчетных глубин на рисунке составляет до 50 см (2,3 м, 2,4 м — исходные глубины; 2,8 м, 2,9 м — соответственно расчетные глубины при разнице в местоположении не более 5–6 м)<sup>1</sup>. На рис. 4 показан фрагмент выполнения треугольной интерполяции. Расхождение измеренных и расчетных глубин на рисунке составляет до 20 см (2,6 м, 2,7 м — исходные глубины; 2,8 м, 2,9 м — соответственно расчетные глубины при разнице в местоположении не более 5–6 м). На рис. 5 показан фрагмент выполнения билинейной интерполяции. Расхождение измеренных и расчетных глубин на рисунке составляет до 30 см (2,7 м, 2,9 м — исходные глубины; 3 м, 3 м — соответственно расчетные глубины при разнице в местоположении не более 5–6 м). На рис. 6 представлен фрагмент выполнения биквадратной сплайн-интерполяции, где расхождение составляет менее 10 см. Расхождение измеренных и расчетных глубин на рисунке составляет до 50 см (1,6 м, 1,7 м — исходные глубины; 1,6 и 1,8 м — соответственно расчетные глубины при разнице в местоположении не более 5–6 м).

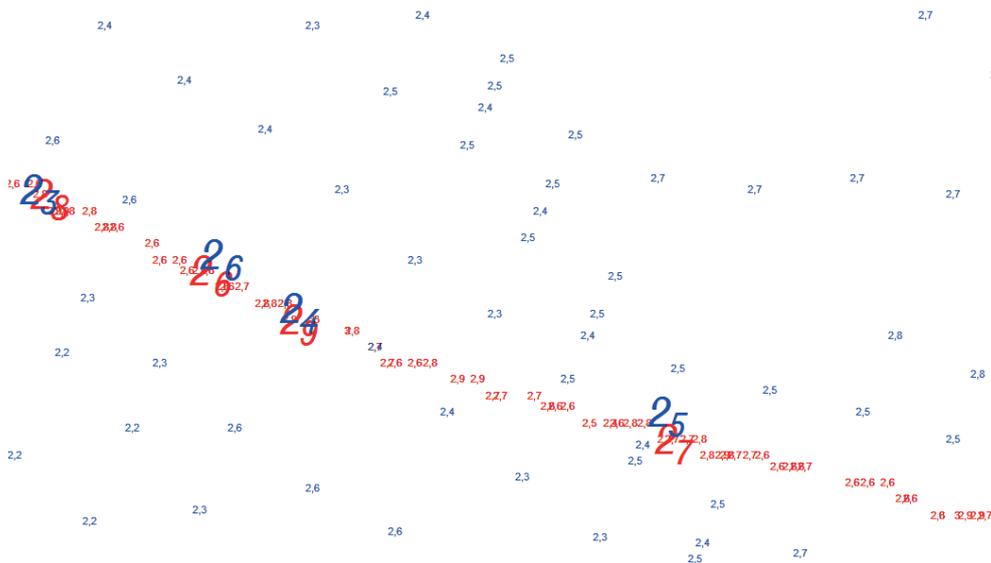


Рис. 3. Контроль точности выполнения интерполяции *методом ближайшего соседа*: синим цветом показаны исходные глубины, красным — глубины, полученные при выполнении интерполяции

На рис. 6 видно, что применение биквадратной сплайн-интерполяции на нерегулярной сети при построении изобат на ЭНК ВВП дает минимальное / наименьшее отклонение из всех стандартных методов интерполяции.

<sup>1</sup> Выполнено с учетом точности определения местоположения судна при выполнении гидрографических работ.

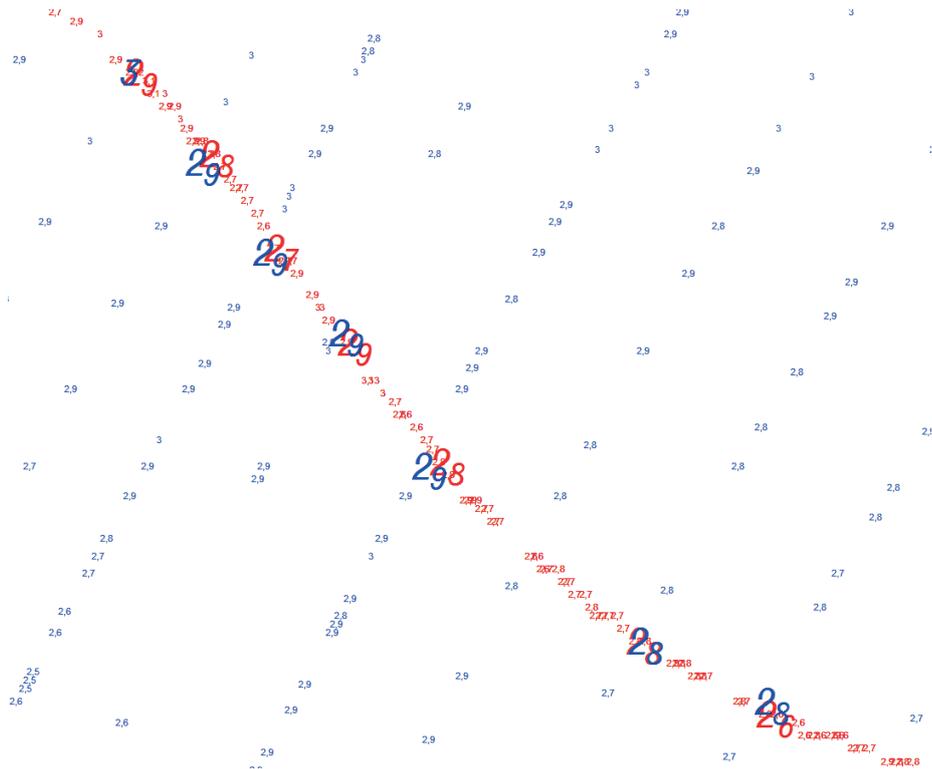


Рис. 4. Контроль точности выполнения треугольной интерполяции: синим цветом показаны исходные глубины, красным — глубины, полученные при выполнении интерполяции

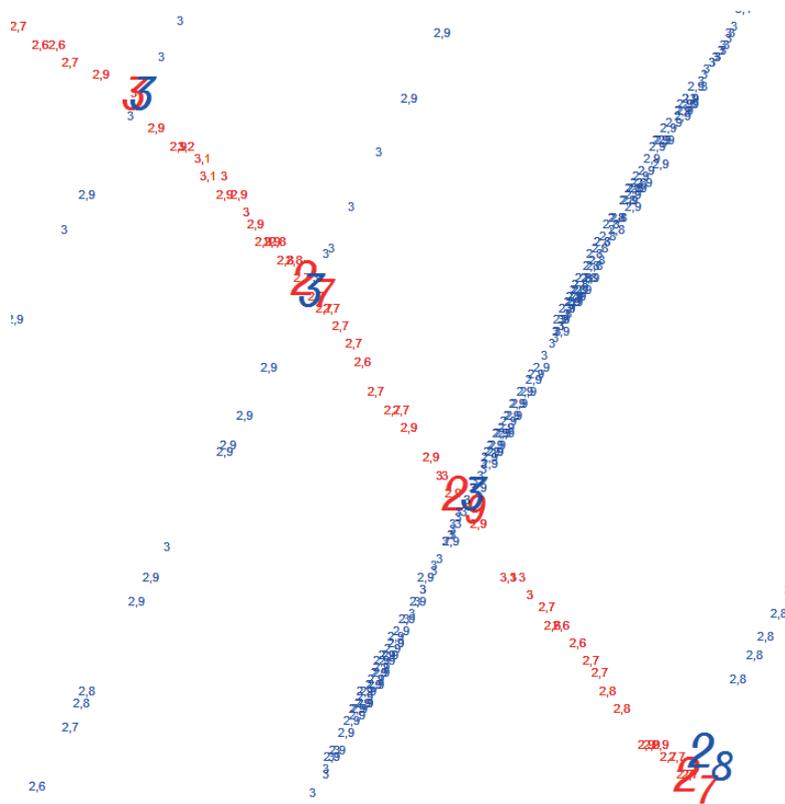


Рис. 5. Контроль точности выполнения билинейной интерполяции: синим цветом показаны исходные глубины, красным — глубины, полученные при выполнении интерполяции

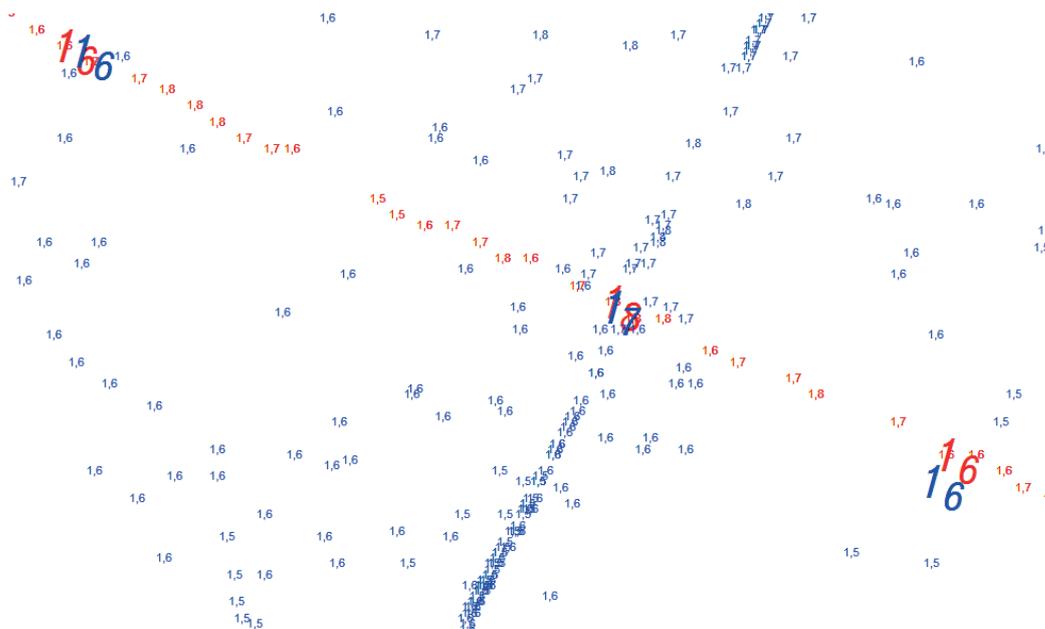


Рис. 6. Контроль точности выполнения биквадратной сплайн-интерполяции: синим цветом показаны исходные глубины, красным — глубины, полученные при выполнении интерполяции

### Выводы (Summary)

Выполненное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. На основе проведенного анализа точности различных методов интерполяции, выполненных на нерегулярной сети, выявлено, что отклонение рассчитанных значений от исходных при выполнении биквадратной сплайн-интерполяции в пять раз меньше, чем при выполнении интерполяции *методом ближайшего соседа* и в общем минимально из всех четырех исследуемых методов. При применении метода биквадратной сплайн-интерполяции на участке р. Северная Двина не было обнаружено артефактов.

2. Выполненное исследование подтверждает выводы, полученные в работах [3]–[10] о том, что биквадратные сплайн-методы позволяют создавать цифровые модели рельефа с наименьшими отклонениями. Исследование точности построения ЦМР с помощью различных методов интерполяции на базе нерегулярной сети — данных промера на ВВП, выполненного однолучевым эхолотом — выполнено в настоящей работе впервые.

3. Метод биквадратной сплайн-интерполяции рекомендован для построения ЦМР для последующего нанесения рельефа дна на навигационные карты внутренних водных путей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афонин А. Б.* Исследование влияния подробности гидрографической съемки на оценку проходных глубин / А. Б. Афонин, И. Ю. Королев, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9 — № 5. — С. 1007–1016. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1007-1016.
2. *Ратнер Е. А.* Сплайн-интерполяция для построения трехмерных батиметрических моделей при картографировании внутренних водных путей / Е. А. Ратнер, А. И. Зайцев, М. А. Квасной // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 894–905. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-894-905.
3. *Amante C. J.* Accuracy of interpolated bathymetry in digital elevation models / C. J. Amante, B. W. Eakins // Journal of Coastal Research. — 2016. — Is. 76 (10076). — Pp. 123–133. DOI: 10.2112/SI76–011.
4. *Amante C. J.* Estimating coastal digital elevation model uncertainty / C. J. Amante // Journal of Coastal Research. — 2018. — Vol. 34. — Is. 6. — Pp. 1382–1397. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-17-00211.1.

5. Parente C. Interpolation of Single Beam Echo Sounder Data for 3D Bathymetric Model / C. Parente, A. Vallario // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. — 2019. — Vol. 10. — No. 10. — Pp. 6–13.

6. Wu C.-Y. Comparison of different spatial interpolation methods for historical hydrographic data of the lowermost Mississippi River / C.-Y. Wu, J. Mossa, L. Mao, M. Almulla // *Annals of GIS*. — 2019. — Vol. 25. — Is. 2. — Pp. 133–151. DOI: 10.1080/19475683.2019.1588781.

7. Alcaras E. Interpolation single beam data for sea bottom GIS modelling / E. Alcaras, L. Carnevale, C. Parente // *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. — 2020. — Vol. 8. — No. 2. — Pp. 591–597. DOI: 10.30534/ijeter/2020/50822020.

8. Павлова А. И. Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа / А. И. Павлова // *Автометрия*. — 2017. — Т. 53. — № 2. — С. 86–94. DOI: 10.15372/AUT20170210.

9. Ююкин И. В. Применение метода сплайн-функций при компьютерной визуализации подводного рельефа / И. В. Ююкин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 64–79. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-64-79.

10. Ююкин И. В. Оптимизация моделирования навигационной изоповерхности методами базисных финитных сплайнов / И. В. Ююкин // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 266–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-266-274.

11. Шикин Е. В. Кривые и поверхности на экране компьютера: руководство по сплайнам для пользователей / Е. В. Шикин, Л. И. Плис. — М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 1996. — 242 с.

## REFERENCES

1. Afonin, Andrej B., Ivan Yu. Korolev, and Aleksandr L. Tezikov. “Research of influence of the detail of hydrographic surveys on assessment of depths through passage.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.5 (2017): 1007–1016. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1007-1016.

2. Ratner, Elizaveta A., Aleksei I. Zaitsev, and Maksim A. Kvasnoy. “Spline interpolation for building three-dimensional bathymetric models at charting inland waterways.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 894–905. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-894-905.

3. Amante, Christopher J., and Barry W. Eakins. “Accuracy of interpolated bathymetry in digital elevation models.” *Journal of Coastal Research* 76(10076) (2016): 123–133. DOI: 10.2112/S176-011.

4. Amante, Christopher J. “Estimating coastal digital elevation model uncertainty.” *Journal of Coastal Research* 34.6 (2018): 1382–1397. DOI: 10.2112/JCOASTRES-D-17-00211.1.

5. Parente, Claudio, and Andrea Vallario. “Interpolation of Single Beam Echo Sounder Data for 3D Bathymetric Model.” *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering* 10.10 (2019): 6–13.

6. Wu, Chia-Yu, Joann Mossa, Liang Mao, and Mohammad Almulla. “Comparison of different spatial interpolation methods for historical hydrographic data of the lowermost Mississippi River.” *Annals of GIS* 25.2 (2019): 133–151. DOI: 10.1080/19475683.2019.1588781.

7. Alcaras, Emanuele, Luigi Carnevale, and Claudio Parente. “Interpolating single-beam data for sea bottom GIS modelling.” *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research* 8.2 (2020): 591–597. DOI: 10.30534/ijeter/2020/50822020.

8. Pavlova, A.I. “Analysis of elevation interpolation methods for creating digital elevation models.” *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing* 53.2 (2017): 171–177. DOI: 10.3103/S8756699017020108.

9. Yuyukin, Igor V. “Application of the spline-functions method in underwater relief computer visualization.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.1 (2021): 64–79. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-64-79.

10. Yuyukin, Igor V. “Optimization of navigational isosurface simulation by the methods of basic finite splines.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 266–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-266-274.

11. Shikin, E.V., and L. I. Plis. *Krivye i poverhnosti na jekrane komp'jutera: rukovodstvo po splajnam dlja pol'zovatelej*. M.: DIALOG-MIFI, 1996.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Ратнер Елизавета Аркадьевна** — аспирант  
*Научный руководитель:*  
Зайцев Алексей Иванович —  
кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [elizaveta.a.ratner@gmail.com](mailto:elizaveta.a.ratner@gmail.com),  
[kaf\\_svpv@gumrf.ru](mailto:kaf_svpv@gumrf.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Ratner, Elizaveta A.** — Postgraduate  
*Supervisor:*  
Zaitsev, Aleksei I. —  
PhD  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [elizaveta.a.ratner@gmail.com](mailto:elizaveta.a.ratner@gmail.com),  
[kaf\\_svpv@gumrf.ru](mailto:kaf_svpv@gumrf.ru)

*Статья поступила в редакцию 4 октября 2021 г.  
Received: October 4, 2021.*