

# ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

УДК 528.47

**А. Б. Афонин,**  
канд. техн. наук, доц.;

**С. А. Лутков,**  
канд. техн. наук;

**А. Л. Тезиков,**  
д-р техн. наук, проф.

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОБАТ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА

### FEATURES CREATION OF DEPTH CONTOURS IN THE CONDITIONS OF INSUFFICIENT HYDROGRAPHIC STUDY OF THE SEABED

*Рассматриваются особенности отображения подводного рельефа на навигационных морских картах (НМК) в районах с недостаточной гидрографической изученностью. Проводится сравнение методов построения изобат на НМК с методами построения горизонталей на топографических картах на примере цифрового элемента рельефа, получившего наименование «седло». Обсуждается принцип выбора подробности съемки. Показано, что отсутствие признаков повышений дна при выполнении промерных работ не может служить гарантией отсутствия навигационных подводных опасностей в междугалсовом пространстве. Приводятся формулы для расчета численного значения опасной глубины при заданном междугалсовом расстоянии и фиксированной вероятности ее пропуска. Даются рекомендации мореплавателям по оценке достоверности отображения подводного рельефа на НМК. Подводный рельеф, отображённый на карте изобатами, не всегда достоверно отражает его реальный характер и при вынужденных отклонениях от рекомендованных путей следует критически оценивать положение изобат на карте, учитывая возможные пропуски минимальных глубин и соответствующих им изобат.*

*Discusses features of the display of the underwater terrain navigation maps (NMC) in areas with inadequate hydrographic studies. A comparison of the methods of constructing isobaths at NMC with methods for creating contours on topographic maps on the example of the digital element of relief, titled the «saddle». Discusses the principle of choosing the details of the shooting. It is shown that the absence of signs increases bottom when performing survey work cannot serve as a guarantee of the absence of underwater navigation hazards in midpalate space. Provides formulas for calculating the numerical values of the dangerous depths at a given midpalate distance and a fixed probability of its passes. Recommendations to mariners to assess the reliability of the display of the underwater terrain at NMC. The underwater relief displayed on the card by isobaths not always authentically displays its real character and at the compelled deviations from the recommended ways it is necessary to estimate critically the provision of isobaths on the card, considering possible admissions of the minimum depths and the isobaths corresponding to them.*

*Ключевые слова: изобаты, подводный рельеф, минимальные глубины, вероятность.*  
*Key words: depth contours, seabed, minimum depths, probability.*

**И**ЗОБРАЖЕНИЕ подводного рельефа является одним из важнейших элементов содержания навигационных морских карт (НМК). Точность, полнота и достоверность отображения подводного рельефа на НМК позволяют решать практические задачи судовождения, связанные с выбором безопасного пути движения судна и опознаванием места судна [1]. На НМК основой для отображения подводного рельефа служат глубины, полученные в ходе промерных работ. Для отображения подводного рельефа на НМК служат глубины, изобаты и условные знаки.

Изобаты представляют собой линии равных значений глубин и применяются на НМК для наглядного изображения подводного рельефа, дополнительного выделения навигационных опас-

ностей и характерных повышений, а также понижений морского дна: банок, мелей, баров, впадин, подводных долин и др. [2]. При построении изобат в основном используются такие же приемы, как и при построении горизонталей на топографических планах местности: интерполяция глубин, геоморфологическая интерполяция, метод сглаживания. Однако, в отличие от топографии, где картографируемая поверхность видна и особенности рельефа контролируются визуально, подводный рельеф, как правило, скрыт от непосредственного наблюдения, что, во многих случаях, влечет за собой неопределенность в его отображении на морских навигационных картах. При этом наиболее сложными являются случаи, когда опасные в навигационном отношении поднятия дна не были обнаружены при выполнении гидрографической съемки.

Аварии судов, связанные с недостаточной гидрографической изученностью, составляют в мировой статистике не менее 15 % всех аварий и занимают лидирующее место [2]. Одним из районов с недостаточной гидрографической изученностью является акватория Северного морского пути [3]. Перечень аварийных происшествий в арктических морях, приведенный в работе [4], свидетельствует о том, что минимальные глубины, существование которых могло быть предсказано вероятностными методами, становятся реальными навигационными опасностями. Так, в навигацию 1971 г. а/л «Ленин», следуя проходом Крайний в 2,3 мили к северу от о. Североморцев в Карском море при окружающих глубинах 20 – 30 м, коснулся грунта. В навигацию 1974 г. л/к «Киев» в районе с глубинами 22 – 40 м, расположенными к северо-западу от о. Грэм-Белл (Земля Франца Иосифа в Баренцевом море), коснулся грунта, получив пробоину. В навигацию 1986 г. т/х «Кандалакша» коснулся грунта на входе в пролив Свободной Кубы между о. Самуила и материковым берегом (море Лаптевых). В навигацию 1996 г. а/л «Ямал» сел на неизвестную банку в районе между о. Хейса и о. Большой Комсомольский в Баренцевом море за изобатой 20 м. Во всех указанных случаях причиной происшествий служили банки с глубинами над ними менее 8 м. Аварии произошли вне рекомендованных путей, в районах, где ранее была проведена съемка подводного рельефа. В ходе промерных работ признаки опасных поднятий дна обнаружены не были.

Следует отметить, что для уменьшения числа аварий морских судов, связанных с недостаточной гидрографической изученностью подводного рельефа, судоводители и гидрографы в своей практической деятельности должны учитывать неопределенность отображения подводного рельефа на морских навигационных картах, не считая, что морская навигационная карта гарантирует отображение всех подводных навигационных опасностей. Одним из типичных случаев неопределенности является элемент подводного рельефа, известный под названием *седло*, приведенный на рис. 1. На рис. 1, а этот элемент показан в виде отметок четырех глубин: 19, 21, 19 и 21 м, из которых две диагональные глубины меньше 20 м, тогда как две другие — больше 20 м. При построении 20-метровой изобаты возможен один из двух вариантов: выделение центральной области с глубинами, превышающими 20 м (рис. 1, б), либо выделение центральной области с глубинами, меньшими 20 м (рис. 1, в).

На топографических картах выбор варианта осуществляется по данным непосредственного визуального наблюдения высоты в центральной внутренней области выделенного элемента. Если в центральной области наблюдается «гряда», то рисовка горизонталей выполняется по варианту, приведенному на рис. 1, б, если в центральной области наблюдается «впадина», то рисовка горизонталей выполняется по варианту, приведенному на рис. 1, в.

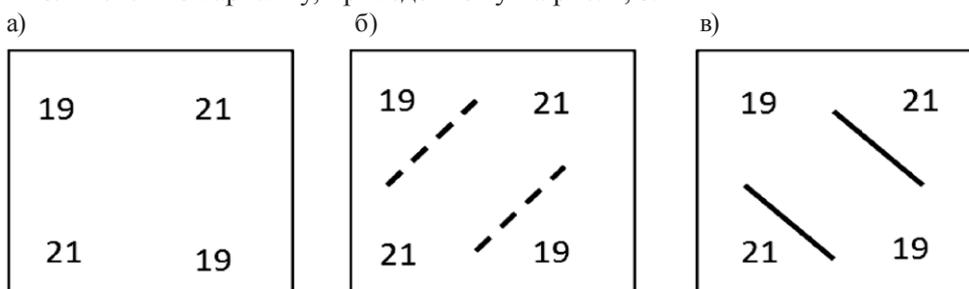


Рис. 1. Элемент подводного рельефа *седло*

При отсутствии визуальной или какой-либо другой информации, как это имеет место в гидрографии, оба варианта построения 20-метровой изобаты равнозначны. Тем не менее, с точки зрения принципа обеспечения безопасности мореплавания вариант, приведенный на рис. 1, в, является более предпочтительным, так как в центральной области он обеспечивает выделение мелководной зоны, в которой могут находиться опасные для мореплавания глубины.

Гидрографические работы относятся к дорогостоящим и трудоемким видам морской деятельности, поэтому при их планировании и проведении приходится преодолевать противоречие между необходимостью увеличения подробности съемки и желанием обследования максимальной по площади акватории. Согласно принципу, принятому в гидрографии, расстояния между промерными галсами в каждом районе систематического промера назначаются с таким расчетом, чтобы обнаружить признаки всех повышений дна, представляющих навигационную опасность [5]. Признаком подводных опасностей может служить любое повышение дна, зарегистрированное хотя бы на одном промерном галсе. При обнаружении такого повышения галсы должны сгущаться до полного выявления наметившейся мели, банки и т. п. Этот принцип, в полной мере, применяется на рекомендованных и оборудованных фарватерах, где на глубинах до 40 м рекомендуется проводить площадное обследование дна, гарантирующее обнаружение даже малых подводных опасностей с высокой вероятностью [6]. В других районах, где площадное обследование, как правило, не проводится, обнаружение всех подводных опасностей не может быть гарантировано.

На шельфе в диапазоне глубин 20 – 50 м рекомендованная подробность съемки для нерасчлененных равнин до настоящего времени принималась равной 750 – 1000 м [2]. Съемка с такой подробностью может гарантировать обнаружение подводных опасностей с горизонтальными размерами, превышающими 750 – 1000 м. Опасности с меньшими горизонтальными размерами могут попасть в пространство между промерными галсами и не быть обнаруженными. В случае, когда опасность попадает в пространство между промерными галсами, ее признаки ни на одном из галсов не регистрируются. Поэтому отсутствие признаков повышений дна на промерных галсах не может гарантировать отсутствие опасных глубин в междугалсовом пространстве. Очевидно, что если в междугалсовом пространстве имеются опасные глубины, то это будет отражаться на форме и составе изобат.

Таким образом, неопределенность в наличии навигационных опасностей приводит к неопределенности в построении изобат, которая увеличивается при уменьшении подробности промера или увеличении расстояния между отметками глубин. При построении изобат по данным, приведенным на рис. 1, предполагалось, что расстояние между отметками глубин настолько мало, что между ними допустима линейная интерполяция и никаких локальных, в том числе опасных повышений дна в центральной области, нет. Если же расстояние между отметками глубин велико, то между ними могут находиться локальные повышения дна с минимальной глубиной  $Z_{\min}$ . Наличие в центральной области подобной глубины определенным образом будет влиять на форму изобат.

Аналитическое решение задачи, связанной с оценкой возможного пропуска локального повышения дна в зависимости от подробности съемки было получено с использованием аппарата теории геометрической вероятности [7] в работах [8] – [10]. При этом необходимо выбрать модель локального повышения дна, которая описывает его форму, а также изменение горизонтальных и вертикальных размеров в зависимости от глубины. В работе [8] в качестве такой модели было предложено использовать сферический сегмент, диаметр  $D$  которого связан с его высотой  $h$  эмпирическим соотношением

$$D = 8,7h. \quad (1)$$

Параметр  $h$  может быть представлен как разность между глубиной  $Z_i$ , соответствующей основанию локального повышения дна, и минимальной глубиной  $Z_{\min}$  над ним. Формула (1) может быть представлена также в виде

$$D = 8,7(Z_i - Z_{\min}). \quad (2)$$

При обследовании дна системой параллельных галсов с междугалсовым расстоянием  $L$  пропуск минимальной глубины  $Z_{\min}$  соответствует условию, при котором ни один из промерных галсов не пересекает окружность диаметра  $D$ . В противном случае, когда окружность пересекается хотя бы с одним из галсов, признаки локального повышения устанавливаются экспериментально, что служит основанием для сгущения промера. Таким образом, вероятность пропуска глубины  $Z_{\min}$  в междугалсовом пространстве может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{пр}} = 1 - \frac{8,7(Z_i - Z_{\min})}{L}, \quad (3)$$

которая может быть использована для вычисления минимальной глубины  $Z_{\min}$ , соответствующей заданной подробности  $L$  и фиксированному порогу вероятности  $P_{Z_{\min}}$ :

$$Z_{\min} = Z_i - \frac{L(1 - P_{Z_{\min}})}{8,7}. \quad (4)$$

В случае, когда при выполнении промера с подробностью  $L$  ни на одном из галсов не зафиксированы признаки повышений дна, в междугалсовом пространстве может быть пропущена вычисленная по формуле (4) минимальная глубина  $Z_{\min}$ , принадлежащая локальному повышению дна, вероятность пропуска которого составляет  $P_{Z_{\min}}$ . Примем в качестве порогового значения вероятность пропуска  $P_{Z_{\min}} = 0,5$ . Тогда выражение (4) примет вид

$$Z_{\min} = Z_i - 0,057L. \quad (5)$$

Рассмотрим, как изменится форма 20-метровой изобаты на фрагменте, приведенном на рис. 1, в. По формуле (5) рассчитаем значения пропущенных с вероятностью 0,5 минимальных глубин, соответствующих трем междугалсовым расстояниям (100, 200 и 300 м):

$$Z_{\min} = 13,3 \text{ м (при } L = 100 \text{ м);}$$

$$Z_{\min} = 7,6 \text{ м (при } L = 200 \text{ м);}$$

$$Z_{\min} = 1,9 \text{ м (при } L = 300 \text{ м).}$$

Полученные значения  $Z_{\min}$  нанесем в центр соответствующего фрагмента цифрового поля, приведенного на рис. 2. Для каждого полученного фрагмента построим изобаты.

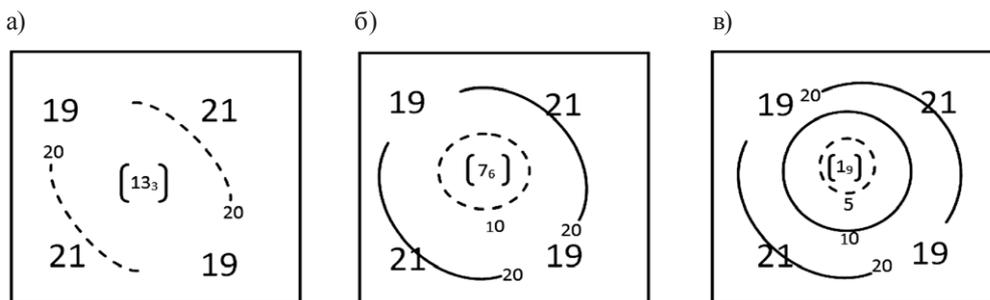


Рис. 2. Минимальные значения пропущенных с вероятностью 0,5 глубин в зависимости от междугалсового расстояния

На рис. 2, а, соответствующем  $L = 100$  м, значение ожидаемой пропущенной глубины составляет 13,3 м. Изобата 20 м представлена двумя отрезками кривых линий, которые увеличивают область малых глубин по сравнению с областью, изображенной на рис. 1, в. На рис. 2, б, соответствующем  $L = 200$  м, значение ожидаемой пропущенной глубины составляет 7,6 м. Область, ограниченная 20-метровой изобатой, расширена по сравнению с областью, изображенной на рис. 2, а. Кроме того, в центральной части появилась 10-метровая изобата. На рис. 2, в, соответствующем  $L = 300$  м, значение ожидаемой пропущенной глубины составляет 1,9 м. Области глубин, ограниченные 20- и 10-метровыми изобатами, расширены по сравнению с областями, приведенными на рис. 2, б.

Кроме того, в центральной части появилась пятиметровая изобата. Следует отметить, что на морские навигационные карты наносятся только те глубины, которые были непосредственно измерены. Приведенные на рис. 2 минимальные глубины к измеренным не относятся, поэтому на морские навигационные карты они наноситься не могут. Существование минимальных глубин носит вероятностный характер. При решении задач, связанных с обеспечением безопасности мореплавания в районах с недостаточной гидрографической изученностью, следует учитывать вероятность наличия таких глубин в районе плавания.

В районах с недостаточной гидрографической изученностью судоходство организуется по рекомендованным путям, которые обследуются с максимальной подробностью. Вместе с тем, особенности навигации часто вынуждают судно отклоняться от хорошо обследованных рекомендованных курсов и попадать в акватории с недостаточной гидрографической изученностью. Такие отклонения происходят при плавании во льдах, при проведении буксировочных операций, при неблагоприятных гидрометеорологических условиях, при выполнении научных морских работ и т. д.

Таким образом, точность и полнота отображения подводного рельефа на морских навигационных картах зависит от подробности гидрографической съемки, глубины района и вероятности пропуска глубины, значение которой представляет опасность для данного судна. При недостаточной гидрографической изученности подводного рельефа достоверность отображения подводного рельефа снижается, а вероятность пропуска опасных глубин растет.

### Выводы

1. В работе предложен метод, позволяющий дать количественную оценку степени неопределенности отображения подводного рельефа на морских навигационных картах.
2. При высокой степени неопределенности отображения подводного рельефа рекомендуется принять все необходимые меры для снижения риска посадки судна на мель, не обозначенную на карте. К таким мерам следует отнести снижение скорости, непрерывный контроль глубины, возвращение на рекомендованный путь.

### Список литературы

1. Правила гидрографической службы № 5. Составление и издание морских карт. — Ч. 1. — СПб.: УНиО МО РФ, 2009. — 306 с.
2. Проблемы Северного морского пути / под ред. А. Г. Гранберга и В. И. Пересыпкина. — М.: Наука, 2006. — 581 с.
3. Решетняк С. В. Северный морской путь. Численная оценка гидрографической обеспеченности трасс для судов с большой осадкой / С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Геодезия и картография. — 2008. — № 6. — С. 59–61.
4. Решетняк С. В. Формализованное представление условий, приводящих к авариям судов / С. В. Решетняк, С. Г. Амелеченко // Геодезия и картография. — 2007. — № 12. — С. 38–42.
5. Правила гидрографической службы № 4. Съемка рельефа дна судоходных морских и речных акваторий. — СПб.: УНиО МО РФ, 2014. — 314 с.
6. Standards for Hydrographic Survey (5-th Edition). — Monaco: ИНО. Special Publication. — 2008. — № 44. — 27 p.
7. Амелеченко С. Г. Применение вероятностных методов в оценке свойств подводного рельефа / С. Г. Амелеченко, А. Л. Тезиков // Эксплуатация морского транспорта. — 2007. — № 4 (50). — С. 30–31.
8. Лутков С. А. Оценка вероятности пропуска опасной глубины по данным навигационных карт арктических морей / С. А. Лутков, С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Навигация и гидрография. — 2013. — № 36. — С. 69–78.

9. Решетняк С. В. Ранжирование трасс Северного морского пути по критерию гидрографической обеспеченности / С. В. Решетняк, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Эксплуатация морского транспорта. — 2008. — № 3 (53). — С. 55–57.

10. Решетняк С. В. Оценка плотности распределения вероятности локальных поднятий дна в междугалсовом пространстве / С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Навигация и гидрография. — 2006. — № 23. — С. 111–115.

**УДК 574, 528.422**

**И. В. Кожухов,**  
канд. геогр. наук, проф.;

**Е. Н. Колосков,**  
асп.;

**Ю. Г. Фирсов,**  
канд. техн. наук, доц.

## **ЭЛЕКТРОННАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОГРАФИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ДАННЫХ ПО МОРФОЛОГИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ**

### **ELECTRONIC ENGINEERING HYDROGRAPHY AND THE PROSPECTS OF OBTAINING NEW RESULTS ON THE MORPHOLOGY AND BOTTOM ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE ARCTIC SEAS**

*Рассмотрены вопросы использования гидрографических информационных технологий для исследования микрорельефа арктических морей. Современные средства съемки, реализованные в виде многолучевых эхолотов и батиметрических гидролокаторов бокового обзора, позволяют получать детальную информацию о топографии дна. Новые компьютерные средства визуализации цифровых моделей дна, полученных по результатам съемки, в виде 3D изображений дают настолько реалистичную картину рельефа, что речь может идти об изучении и исследовании подводных ландшафтов во всём их многообразии. Трёхмерная визуализация дает возможность не только наблюдать морфологические особенности рельефа, но и получать информацию о его генезисе, что открывает новые перспективы изучения дна средствами гидроакустики в рамках различных направлений морской деятельности, включая морскую экологию. Приводятся изображения особых форм микрорельефа дна, часто встречающихся в арктических морях, связанные с различными нарушениями поверхности дна. Основное внимание уделено особенностям подводного рельефа в виде борозд, оставленных на грунте, вероятнее всего, стамухами, и положительным формам дна в виде куполообразных возвышений типа «гидролакколитов» или «булгуннях» — уникальных форм микрорельефа, как правило, приуроченных к донному газопроявлению в форме метановых выбросов.*

*The study examines modern hydrographic technologies for the Russian northern seas investigations. The modern hydrographic equipment is presented mainly as multibeam echosounders and bathymetric side scan sonars providing the possibility to obtain the detailed seabed topography. The hydrographic software tools used to process and analyze the bathymetry can create the seafloor digital terrain models with the high degree of resolution and provide 3D visualization. These new possibilities provide such realistic view of the sea bottom relief and environment that can be characterized as the marine landscapes. Thus it became possible to investigate the relief morphological peculiarities and obtain the information about the relief genesis. This opens the new opportunities for using the acoustic techniques for various types of marine activity including the bottom environmental study. The arctic sea specific microrelief images are provided to show the abnormality of the bottom surface. The main attention is paid to specifics and bottom features such as trenches the grounded hummock traces and dome-shaped elevations of the Pingo-type — unique forms of microrelief usually confined to the bottom getpreview in the form of methane emissions.*