

## IMPROVING THE HYDROGRAPHIC SURVEY EFFICIENCY IN THE NORTHERN SEA ROUTE WATER AREA

**A. B. Afonin**

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

*The development of a scheme for surveying the bottom relief in the water area of the Northern Sea Route, the use of which provides its efficiency increase, is described in the paper. It is concluded that the nature and trajectories of ship movement in the winter navigation period in the Central and Eastern sectors of the Arctic will have similar features to the nature and trajectories of ship movement in the Kara Sea. The main navigational features of the Central and Eastern part of the Northern Sea Route are presented. The main factors that determine navigation conditions in the Central and Eastern part of the Northern Sea Route are highlighted. Estimates of the areas of shallow water regions in the Central and Eastern parts of the Northern Sea Route are given. It is emphasized that within these waters there are significant areas with insufficient hydrographic knowledge to ensure the safe navigation of large-tonnage vessels. Hydrographic conditions for safe navigation of vessels with a given draft are formulated. The time required for surveying the bottom relief of the Northern Sea Route water areas, which currently have insufficient hydrographic knowledge is estimated. It is concluded that it is necessary to develop such a scheme for performing the survey of the bottom relief, which would significantly improve its performance. The main principles on which the proposed scheme is based are given. It is emphasized that in order to ensure safe navigation of a vessel with a given draft, the bottom relief model must provide a given level of uncertainty of the surface at a given depth, and not to the bottom. It is proposed to perform a survey of the bottom topography with the use of multi-beam echo sounders on parallel lines that have no intersections. The proposed scheme is compared with traditional schemes for surveying the bottom relief: a single-beam echo sounder and a multi-beam echo sounder with overlapping adjacent survey bands. The conclusion on the advantage of the proposed scheme in terms of increasing the labor productivity when performing the survey of the bottom relief and increasing its efficiency is made.*

*Keywords: Northern Sea Route, safety of navigation, hydrographic conditions of safe navigation, hydrographic reserve, uncertainty of the bottom relief model, hydrographic knowledge.*

**For citation:**

Afonin, Andrej B. "Improving the hydrographic survey efficiency in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 302–309. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-302-309.

**УДК 528.47**

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА ДНА В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

**А. Б. Афонин**

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

*Статья посвящена разработке схемы выполнения съемки рельефа дна в акватории Северного морского пути, применение которой обеспечивает повышение ее эффективности. Сделан вывод о том, что характер и траектории движения судов в зимний период навигации в центральном и восточном секторах Арктики будет иметь похожие черты с характером и траекториями движения судов в Карском море. Приводятся основные навигационные особенности центральной и восточной части акватории Северного морского пути. Выделены основные факторы, определяющие навигационные условия в центральной и восточной части акватории Северного морского пути. Приводятся оценки площадей мелководных районов акватории центральной и восточной частей акватории Северного морского пути. Отмечается, что в пределах этих акваторий находятся значительные по площади районы, имеющие недостаточную гидрографическую изученность. Формулируются гидрографические условия безопасной навигации судов с заданной*

осадкой. Оценивается время, необходимое для выполнения съемки рельефа дна акваторий Северного морского пути, которые на сегодняшний день имеют недостаточную гидрографическую изученность. Сделан вывод о необходимости разработки такой схемы выполнения съемки рельефа дна, которая бы позволила значительно повысить её производительность. Приведены основные принципы, на которых основана предлагаемая схема. Подчеркивается, что для обеспечения безопасной навигации судна с заданной осадкой модель рельефа дна должна обеспечивать заданный уровень неопределенности поверхности на заданной глубине, а не до дна. Предлагается выполнять съемку рельефа дна с применением многолучевых эхолотов по параллельным полосам, не имеющим пересечений. Приводится сравнение предлагаемой схемы с традиционными схемами съемки рельефа дна: однолучевым и многолучевым эхолотами с перекрытием смежных полос обследования. Сделан вывод о преимуществе предложенной схемы в части повышения производительности труда при выполнении съемки рельефа дна и повышения ее эффективности.

**Ключевые слова:** Северный морской путь, безопасность плавания, гидрографические условия безопасной навигации, гидрографический запас, неопределённость модели рельефа дна, гидрографическая изученность.

**Для цитирования:**

Афонин А. Б. Повышения эффективности съемки рельефа дна в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 302–309. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-302-309.

### **Введение (Introduction)**

Превращение Северного морского пути (СМП) в постоянно действующую круглогодичную транспортную магистраль [1] неизбежно ведет к существенным изменениям в маршрутах плавания судов в пределах акватории СМП. Конкретные маршруты плавания будут формироваться практически в реальном времени в зависимости от текущих ледовых условий. Наличие тяжелых льдов в акватории, особенно в зимний период навигации, обуславливает необходимость оперативного выбора оптимального маршрута плавания, минимизирующего ледовую нагрузку на судно. В практическом плане это проявляется как отклонения реальных маршрутов движения судов от рекомендованных трасс [2], причем не только прибрежных, но и транзитных [3]. Такая картина наблюдается в настоящее время в Карском море, где реализована круглогодичная навигация. Отклонения реальных маршрутов судов в сторону от рекомендованных трасс в Карском море, особенно в зимний период навигации, достигают десятков миль [4].

Зимняя навигация в центральном и восточном секторах Арктики, по всей вероятности, будет выполняться по аналогичным «сценариям» и в этих акваториях также следует ожидать значительные отклонения реальных маршрутов судов в сторону от рекомендованных трасс. Однако, в отличие Карского моря, моря центрального и восточного секторов Арктики имеют более сложные гидрографические условия навигации. Сложность гидрографических условий навигации в этих районах определяется, главным образом, двумя обстоятельствами.

Во-первых, это обширные по площади мелководья. Доля площадей мелководных районов арктических морей центрального и восточного сектора с глубинами, не превышающими 30 м, составляет [2]:

- Море Лаптевых — 71 %;
- Восточно-Сибирское море — 86 %;
- Чукотское море — около 7 %.

В абсолютном суммарном выражении площадь мелководья оценивается величиной порядка 1500 тыс. км<sup>2</sup>. Фактор мелководья арктических морей не играет существенной роли для судов, имеющих осадку 5–6 м. Рекомендованные трассы СМП, сформированные для таких судов с начала 30-х гг. XX в., обеспечивают их безопасное плавание. В течение последнего десятилетия в акватории СМП началась эксплуатация крупнотоннажных судов, имеющих осадку 12–15 м [5]. Применение таких судов обусловлено коммерческой целесообразностью вывоза значительных объемов углеводородов с имеющихся и прогнозируемых месторождений арктического шельфа, расположенных, в том числе, и в зоне арктического мелководья центрального и восточного секторов Арктики [6].

Мелководье акватории приводит к сужению области безопасного плавания и маневрирования крупнотоннажных судов, что создает для них более сложные условия навигации по сравнению с условиями навигации для судов с меньшей осадкой в этих же районах.

Во-вторых, недостаточная гидрографическая изученность отдельных районов акватории СМП, лежащих вне рекомендованных трасс, вплоть до наличия «белых» пятен [5]. Данное обстоятельство на фоне мелководья делает в этих районах условия навигации еще более сложными. Доля площадей акваторий арктических морей, имеющих недостаточную гидрографическую изученность, составляет [7]:

- Карское море — 18 %;
- Море Лаптевых — 15 %;
- Восточно-Сибирское море — 51 %;
- Чукотское море — около 40 %.

В абсолютном суммарном выражении площадь районов, имеющих недостаточную гидрографическую изученность, оценивается значением порядка 970 тыс. км<sup>2</sup>. Реализация круглогодичной навигации в центральной и восточной частях акватории СМП потребует вовлечение этих малоизученных районов в общую структуру маршрутов транспортировки грузов по СМП. Скорейшее решение этой задачи обуславливает необходимость выполнения подробных гидрографических исследований в ближайшее время в максимально короткие сроки и на огромных площадях.

В соответствии с существующими регламентами [8], [9] мелководные районы акватории СМП, через которые будут проходить маршруты плавания крупнотоннажных судов, следует отнести к районам, имеющим важное навигационное значение и обеспечивающим лишь минимальные запасы воды под килем. Поэтому в этих районах необходимо выполнение детальной съемки рельефа дна способом площадного обследования [10]. Выбранное междугалсовое расстояние при этом способе съемки должно практически гарантировать взаимное пересечение смежных полос обследования дна. По оценке автора данной публикации, выполнение одним судном площадной съемки рельефа дна акватории площадью в 970 тыс. км<sup>2</sup> с пересечением смежных полос обследования потребует примерно 270 лет. Сокращение этого срока возможно путем повышения производительности съемки рельефа дна при сохранении необходимого уровня безопасности мореплавания.

Впервые задача повышения производительности гидрографической съемки была сформулирована в работе [11]. Ее решение достигается за счет *метода выполнения площадной съемки по полосам обследования дна, отстоящим друг от друга на некоторой дистанции*, которую предлагается определять в зависимости от глубины района, заданной осадки судна и постоянного для всех трасс СМП коэффициента. Данный коэффициент связывает горизонтальный и вертикальный размеры поднятий дна над фоновыми глубинами, которые могут оказаться между полосами обследования [12]. В этой работе предложена формула, позволяющая вычислить величину интервала между полосами площадного обследования дна. Наличие интервалов между полосами обследования увеличивает дискретность съемки, повышая ее производительность, с сохранением при этом достаточного уровня безопасности плавания судов с заданной осадкой. Выполнение съемки рельефа дна с помощью предложенного метода сокращает до 190 лет время обследования площади, равной 970 тыс. км<sup>2</sup>.

Предложенная в работе [12] методика вычисления интервала между полосами обследования не кажется оптимальной, поскольку базируется на общем для всех трасс СМП значении коэффициента связи между горизонтальными и вертикальными размерами возвышенностей и тем самым не учитывает локальные морфологические и морфометрические характеристики рельефа дна. Неопределенность поверхности рельефа дна между полосами обследования в данном случае, по существу, постоянна и никак не связана с локальными особенностями рельефа дна в конкретном районе. Данные о рельефе дна, полученные по измерениям глубин в пределах полос обследования, вообще не участвуют в определении подробности съемки.

Использование характеристик рельефа дна в пределах полос обследования для оперативного определения дискретности съемки «по полосам», содержит значительный потенциал оптимизации процесса съемки, максимально повышающий ее производительность.

Целью настоящего исследования является разработка метода выполнения гидрографической съемки, который позволит повысить ее производительность, обеспечив в минимальные сроки безопасное плавание транспортных судов по всей акватории СМП.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Метод выполнения гидрографической съемки на акватории СМП основан на формализации задачи с применением теории вероятностей, теории геометрических вероятностей, математической статистики и теории случайных функций. Данный метод предполагает выполнение площадного обследования рельефа дна «по полосам», отстоящим друг от друга на некоторой дистанции и оценку неопределенности рельефа дна, возникающую в пределах необследованных участков между полосами. Оценка неопределенности поверхности рельефа дна должна показывать с заданной доверительной вероятностью значения минимально возможных глубин между полосами обследования.

Последнее утверждение свидетельствует о том, что в отличие от стандарта [8], содержащего требование о полном обследовании дна на мелководье, которое позволяет обнаружить на дне, в том числе кубические объекты заданных размеров, в рассматриваемом случае ставится менее строгое условие. В данном случае в результате съемки должна с заданной вероятностью появиться уверенность не в наличии или отсутствии на дне объектов определенных размеров, а в отсутствии поднятий дна, глубина над которыми меньше, чем оценка минимальной глубины, полученной на основе результатов съемки.

Оценка неопределенности рельефа дна между полосами обследования формируется на основе статистического анализа морфологических и морфометрических характеристик рельефа дна, полученных по значениям глубин, измеренных внутри полос обследования. Высокая плотность измерений глубин в пределах полосы обследования позволяет определить морфологические свойства рельефа дна и вычислить его морфометрические и статистические характеристики, необходимые для прогнозирования и вероятностной оценки значений глубин между полосами обследования. Это свойство площадной съемки делает принципиально возможным из множества существующих методов прогноза значений глубин в пределах необследованных участков сделать обоснованный выбор такого метода, который показывает минимальную неопределенность в данных условиях.

В общем случае величина неопределенности глубины пропорциональна величине междугалсового расстояния: большим значениям междугалсового расстояния соответствуют большие значения неопределенности значения прогнозируемой глубины [12]. Вместе с тем неопределенность значения глубины зависит от вероятностных и статистических характеристик рельефа при одном и том же значении междугалсового расстояния [13].

Результаты площадной съемки по полосам, отстоящим друг от друга на некотором расстоянии  $L$ , формируют множество значений неопределенности глубин между полосами  $\{\Delta\}$ . Элементами этого множества являются конкретные значения неопределенности глубин, обусловленные применением различных статистических и вероятностных способов оценок глубин в промежутке между полосами обследования:

$$\{\Delta\} = \{\Delta_i(I_i; p; L; M_i)\}, \quad (1)$$

где  $\{\Delta_i\}$  — неопределенность, обусловленная применением  $i$ -го способа оценки,  $i = [1 - n]$ ;

$n$  — общее количество способов оценки глубин между полосами;

$I_i$  —  $i$ -й способ оценки глубин;

$p$  — доверительная вероятность неопределенности  $\Delta_i$ ,  $p = \text{const}$  для всех способов оценки неопределенности;

$L$  — междугалсовое расстояние,  $L = \text{const}$ ;

$M_i$  — подмножество статистических, вероятностных, морфологических и морфометрических характеристик рельефа дна, используемых для оценки глубин  $i$ -м способом.



Статистические, вероятностные, морфологические и морфометрические характеристики рельефа дна, полученные по измерениям в пределах полос обследования, являются исходными данными для применения различных способов оценки неопределенности глубин между полосами и в силу этого, в зависимости от применяемого способа, получаются различные значения  $\{\Delta_i\}$ .

### Результаты (Results)

При планировании съемки рельефа дна величину междугалсового расстояния предлагается определять в виде решения относительно  $L$  следующего уравнения:

$$\min\{\Delta\} = \min\{\Delta_i(I_i; p; L; M_i)\} = Z_I - (d + \delta_{\min}), \quad (2)$$

где  $\min\{\Delta\} = \min\{\Delta_i(I_i; p; L; M_i)\}$  — минимальный элемент множества (1);

$Z_I$  — оценка глубины способом  $I_i$  в промежутке между полосами обследования;

$d$  — осадка судна;

$\delta_{\min}$  — минимальный запас воды под килем.

Минимальный элемент множества (1) определяет наилучший способ оценки неопределенности по критерию минимума значения  $\Delta_i$ . Это позволяет вычислить максимально допустимую величину междугалсового расстояния  $L = L_{\max}$ , которая соответствует максимально редкой сети галсов, обеспечивая, однако, заданный уровень безопасности плавания.

Максимальное значение междугалсового расстояния обеспечивает также максимальную производительность выполнения съемки. В качестве примера выполним сравнение оценок неопределенности поверхности рельефа дна в промежутках между полосами обследования, полученных с использованием различных гипотез о морфометрических характеристиках рельефа. Первая гипотеза заключается в том, что коэффициент, связывающий вертикальные и горизонтальные размеры поднятий дна в пределах арктического шельфа, равен 8,7 [11]. В соответствии со второй гипотезой этот же коэффициент принимается равным 62,5 [14]. И в первом и во втором случае значения коэффициентов представляют собой интегральные морфометрические характеристики рельефа дна шельфа арктических морей. Существенное различие между ними объясняется различными исходными представлениями о характере рельефа и методами их определения.

При равных значениях междугалсовых расстояний, оценка неопределенности поверхности рельефа между полосами обследования, основанная на первой гипотезе более, чем в семь раз превосходит эту же оценку, основанную на второй гипотезе. Данное обстоятельство позволяет, опираясь на вторую гипотезу, увеличить практически в семь раз междугалсовое расстояние без ущерба для обеспечения безопасного плавания судов. В этом случае покрытие 970 тыс. км<sup>2</sup> площадью съемкой одним судном потребует периода времени, равного примерно 40 лет, а не 190 лет, как в случае оценки неопределенности поверхности рельефа между полосами обследования, основанной на первой гипотезе.

### Обсуждение (Discussion)

Метод выполнения съемки и определения максимальной ее дискретности базируется на определении статистических характеристик рельефа, полученных по измерениям глубин внутри полос обследования и на переносе этих оценок рельефа в пределы необследованных участков между полосами. Это является его недостатком, однако наличие практически непрерывного площадного покрытия внутри полос обследования позволит определить районы акватории, имеющие однородные статистические и вероятностные характеристики глубин. В этих районах перенос оценок характеристик рельефа в необследованные области можно считать вполне обоснованным.

Применение данного метода потребует выполнения большого объема вычислений для получения практически в реальном времени статистических и вероятностных характеристик рельефа дна в пределах обследованных полос, что вызовет необходимость разработки специального программного обеспечения.

### Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложенный метод выполнения съемки рельефа дна позволяет существенно увеличить производительность гидрографических работ в акватории СМП и сократить сроки покрытия малообследованных районов акватории СМП до 30–40 лет силами одного гидрографического судна. Десять судов справятся с этой задачей за три-четыре навигации.
2. Предложенная схема может использоваться как основная для обследования значительных по площади мелководных районов акватории СМП, имеющих недостаточную гидрографическую изученность.
3. Определение величины междугалсового расстояния по формуле (2) позволит формализовать процесс управления качеством съемки как на этапе планирования, так и на этапе ее выполнения.
4. Входными данными, обеспечивающими процесс управления качеством, является глубина и предельная осадка судна, плавание которого предполагается в данном районе, а также статистические и вероятностные характеристики рельефа, выходными данными — оперативно вычисленное значение междугалсового расстояния.
5. На этапе планирования оценка величины междугалсового расстояния выполняется по имеющимся материалам гидрографической изученности района. На этапе выполнения съемки величина междугалсового расстояния может оперативно корректироваться в зависимости от результатов выполненных измерений.
6. В предлагаемом исследовании формируются основы для создания динамических измерительных сетей, которые, с одной стороны, обладают максимально допустимой дискретностью измерений, а с другой — обеспечивают с заданной вероятностью безопасную навигацию судов.
7. Дальнейшее направление исследований состоит в разработке конкретных методик определения подробности съемки, обеспечивающей заданный уровень неопределенности модели рельефа дна на заданной глубине и обосновании выбора направления галсов основного покрытия и контрольных.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олерский В. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. Олерский // Транспортная стратегия — XXI век. — 2015. — № 29 (2). — С. 8–9.
2. Афонин А. Б. Концепция развития судоходных трасс акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
3. Рукша В. В. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы / В. В. Рукша [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 104–110.
4. Ольховик Е. О. Влияние льда на формирование судоходных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик, Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 2. — С. 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
5. Андреева Е. В. Обоснование выбора количественных показателей зон маневрирования в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 951–959. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-951-959.
6. Каминский В. Д. Основные проблемы и пути освоения углеводородных ресурсов на шельфе Арктической зоны Российской Федерации / В. Д. Каминский [и др.] // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2018. — № 9. — С. 44–46.
7. Афонин А. Б. Комплексная оценка безопасности плавания в акватории Северного морского пути / А. Б. Афонин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.

8. IHO Standards for Hydrographic Surveys. — 5th Edition. — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008. — 28 p.
9. A guide to the requirements and processes necessary to produce ENC's Special Publication No. 65. — Edition 1.1. — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008. — 61 p.
10. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.
11. Решетняк С. В. Метод повышения эффективности гидрографического обследования высокоширотных трасс Северного морского пути / С. В. Решетняк, А. Л. Тезиков // Геодезия и картография. — 2011. — № 6. — С. 45–49.
12. 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.
13. Сорокин А. И. Гидрографические исследования Мирового океана / А. И. Сорокин. — Л.: Гидрометеиздат, 1980. — 286 с.
14. Королёв И. Ю. Оценка допустимого отклонения пути судна от обследованной полосы / И. Ю. Королёв // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 105–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-105-112.

## REFERENCES

1. Olerskii, V. "Kompleksnyi projekt razvitiya Severnogo morskogo puti." *Transportnaya strategiya - XXI vek* 29(2) (2015): 8–9.
2. Afonin, Andrej B., and Aleksandr L. Tezikov. "The concept of development of shipping routes along the northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 81–87. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-81-87.
3. Ruksha, V. V., M. S. Belkin, A. A. Smirnov, and V. G. Arutyunyan. "Structure and dynamics of cargo transportation along the Northern Sea Route: the history, present and prospects." *Arctic: ecology and economy* 4(20) (2015): 104–110.
4. Olkhovik, Evgeniy Olegovich, Ekaterina Valerievna Andreeva, and Aleksandr Lvovich Tezikov. "Ice influence on forming shipping routes in the water area of the Northern Sea Route." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: marine engineering and technologies* 2 (2019): 26–36. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-2-26-36.
5. Andreeva, Ekaterina V., Andrej B. Afonin, and Aleksandr L. Tezikov. "The rationale for the selection of quantitative indicators zones of maneuvering in the water area of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.5 (2018): 951–959. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-951-959.
6. Kaminskii, V. D., O. I. Suprunenko, T. Yu. Medvedeva, and A. A. Chernykh. "Osnovnye problemy i puti osvoeniya uglevodorodnykh resursov na shel'fe Arkticheskoi zony Rossiiskoi Federatsii." *Delovoi zhurnal Neftegaz. RU* 9 (2018): 44–46.
7. Afonin, Andrej B. "A comprehensive assessment of the safety of navigation in the water area of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1132–1142. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1132-1142.
8. IHO Standards for Hydrographic Surveys. 5th Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.
9. A guide to the requirements and processes necessary to produce ENC's Special Publication No. 65. Edition 1.1. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008.
10. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic seas underwater relief of Russia." *Geodesy and Cartography* 4 (2006): 57–60.
11. Reshetnyak, S. V., and A. L. Tesikov. "Efficiency increasing method of hydrographic survey of Northern Sea Route highlatitude paths." *Geodesy and Cartography* 6 (2011): 45–49.
12. Reshetnyak, S. V., and A. L. Tesikov. "Northern seaway. Numerical evaluation of the hydrographic provision of routes for the high draught vessels." *Geodesy and Cartography* 6 (2008): 59–61.
13. Sorokin, A. I. *Gidrograficheskie issledovaniya Mirovogo okeana*. L.: Gidrometeizdat, 1980.
14. Korolev, Ivan Jurevich. "Evaluation of the tolerance path of the vessel from the surveyed strip." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(40) (2016): 105–112. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-105-112.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Афонин Андрей Борисович** —  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: [andrey.afonin.gma@yandex.ru](mailto:andrey.afonin.gma@yandex.ru),  
[AfoninAB@gumrf.ru](mailto:AfoninAB@gumrf.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Afonin, Andrej B.** —  
PhD, associate professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: [andrey.afonin.gma@yandex.ru](mailto:andrey.afonin.gma@yandex.ru),  
[AfoninAB@gumrf.ru](mailto:AfoninAB@gumrf.ru)

*Статья поступила в редакцию 27 февраля 2020 г.  
Received: February 27, 2020.*