

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-856-866

ACCOUNTING THE IMPACT OF HYDROGRAPHIC STUDIES ON THE SAFETY OF NAVIGATION OF LARGE-TONNAGE VESSELS IN THE NORTHERN SEA ROUTE WATER AREA

E. V. Andreeva, K. Y. Esaulova, A. L. Tezиков

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

The problem of ensuring the safe navigation of large-tonnage vessels on high-altitude routes in the conditions of insufficient hydrographic study of the bottom relief of the Northern Sea Route water area is discussed in the paper. The problem of determining the safe movement of the vessel in the conditions of insufficient hydrographic study of the bottom relief of the water area is being solved. The basic data on the volume and directions of maritime freight carried by large-tonnage vessels are given. The main trends of changes in the structure of the Arctic fleet, in the direction of sea traffic and in the navigation period of the vessels in the Arctic Seas are identified. The analysis of the conditions for shipping routes formation in the Kara Sea is implemented. The prospects for the development of the marine transport infrastructure of the Laptev Sea, East Siberian and Chukchi Seas, including a network of deep-water routes in the central and eastern sectors of the Arctic, have been determined. The quantitative characteristics of the existing sections of the main high-latitude route, which are a system of bands with a width of 2 km, each of which is more than 20 m deep, which is confirmed by the data of the bottom area survey, are presented. The information about the hydrographic study of the bottom relief of the areas directly adjacent to the route has been analyzed. The route sections are ranked according to the details of the bottom relief survey of adjacent areas. The sections of the route, around which there is no reliable information about the depths are established. The question of assessing the magnitude of the allowable deviation of the vessel from the route is investigated. An analytical review of scientific publications allows us to establish that in the existing methods for determining the permissible deviations, the detail of surveying the bottom topography of adjacent areas is not taken into account. A method for calculating the allowable deviations of vessels from the route, taking into account the information about the depth surrounding the route and the details of the hydrographic survey, on the basis of which such information is obtained, has been developed. The technique involves the use of nautical charts, as well as the hydrographic study of the bottom topography contained on them. The directions for further research are identified.

Keywords: Northern sea route, high-latitude routes, survey bandwidth, lateral deviations, insufficient hydrographic knowledge, survey details, mathematical model.

For citation:

Andreeva, Ekaterina V., Kristina Y. Esaulova, and Aleksandr L. Tezиков. "Accounting the impact of hydrographic studies on the safety of navigation of large-tonnage vessels in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 856–866. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-856-866.

УДК 528.47

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ НА БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛАВАНИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Е. В. Андреева, К. Я. Исаулова, А. Л. Тезиков

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

Рассмотрена проблема обеспечения безопасного плавания крупнотоннажных судов по высокоширотным трассам в условиях недостаточной гидрографической изученности рельефа дна акватории

Северного морского пути. Решается задача определения полосы безопасного движения судна в условиях недостаточной гидрографической изученности рельефа дна акватории. Приведены основные данные по объему и направлениям морских грузоперевозок, выполняемых крупнотоннажными судами. Выявлены основные тенденции изменения структуры арктического флота, направления морских транспортных потоков и сроков навигационного периода работы судов в арктических морях. Выполнен анализ условий формирования судоходных маршрутов в Карском море. Определены перспективы развития морской транспортной инфраструктуры моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, включающей сеть глубоководных маршрутов в центральном и восточном секторе Арктики. Приведены количественные характеристики действующих участков основной высокоширотной трассы, представляющих собой систему полос, имеющих ширину 2 км, в пределах каждой из которых глубины превышают 20 м, что подтверждено данными площадного обследования дна. Проанализированы сведения о гидрографической изученности рельефа дна областей, непосредственно примыкающих к трассе. Выполнено ранжирование участков трассы в зависимости от подробности съемки рельефа дна примыкающих областей. Установлены участки трассы, вокруг которых достоверные сведения о глубинах отсутствуют. Исследован вопрос об оценке величины допустимого отклонения судна от трассы. Аналитический обзор научных публикаций позволил установить, что в существующих методах определения допустимых отклонений, подробность съемки рельефа дна примыкающих областей не учитывается. Разработана методика вычисления допустимых отклонений судов от трассы с учетом сведений об окружающих трассу глубинах и подробности гидрографической съемки, на основе которой такие сведения получены. Методика предполагает использование морских навигационных карт, а также содержащихся на них схем гидрографической изученности рельефа дна. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Северный морской путь, высокоширотные трассы, ширина полосы обследования, боковые отклонения, недостаточная гидрографическая изученность, подробность съемки, математическая модель.

Для цитирования:

Андреева Е. В. Учет влияния гидрографической изученности на безопасность плавания крупнотоннажных судов в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева, К. Я. Исаулова, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 856–866. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-856-866.

Введение (Introduction)

Развитие Северного морского пути (СМП) направлено на достижение целевых показателей, определенных в Указе Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»¹. В соответствии с Указом Президента в 2024 г. общий объем морских арктических грузоперевозок должен достичь 80 млн т. В 2018 г. объем грузоперевозок по трассам СМП достиг 20 млн т, что превысило показатели 2017 г. почти в два раза. Основную долю всех грузов, составляющую более 86 %, перевезли крупнотоннажные суда, которые за год выполнили более 200 рейсов. К работе в 2018 г. было привлечено сорок танкеров и контейнеровозов, шестнадцать из которых работали в режиме круглогодичной навигации. Основу перевозок составил вывоз углеводородов с месторождений Карского моря в западном направлении по маршрутам, проходящим по относительно глубоководным и хорошо изученным в гидрографическом отношении участкам Карского моря. Перевозка грузов в восточном направлении в 2018 г. носила эпизодический характер. К 2030 г. объем грузоперевозок планируется довести до 125 млн т. Для достижения такого объема потребуется увеличить количество крупнотоннажных судов, а также развить существующую сеть судоходных маршрутов.

По сравнению с Карским морем навигационные условия развития сети маршрутов крупнотоннажных судов в море Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях отличаются большей сложностью, что связано с более суровыми ледовыми условиями, малыми глубинами и недостаточной гидрографической изученностью рельефа дна [1], [2]. Составление и реализация плана развития маршрутов крупнотоннажных судов в акватории СМП возложены

¹ О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года: указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204.

на ФГУП «Гидрографическое предприятие»¹. В проект включены высокоширотные маршруты, предназначенные для плавания судов с осадкой до 15 м. Большая часть маршрутов проходит по мелководным районам, в которых систематическое обследование рельефа дна не выполнялось или выполнялось с недостаточной подробностью. Высокоширотные маршруты включают основную высокоширотную трассу и альтернативную. Общая протяженность основной трассы составляет 2812 миль, альтернативной — 1603 мили. Маршруты планируется вводить в эксплуатацию по мере проведения на них площадной гидрографической съемки, гарантирующей отсутствие на них опасных глубин. К началу летней навигации 2019 г. площадное обследование рельефа дна выполнено на участке основной трассы протяженностью 2563 мили в полосе шириной 2 км.

С учетом сложных ледовых условий и трудоемкости гидрографических работ до 2024 г. планируется завершить выполнение площадной съемки на всей протяженности основной и альтернативной трасс в полосе шириной 2 км. В дальнейшем ширину полосы обследования планируется увеличить до 10 км. Выход за пределы обследованной полосы связан с возможной посадкой судна на неизвестную мель, что подтверждается результатами исследований, обобщенных в работах [3]–[6].

Исследованию вопроса о допустимом отклонении судна от обследованной полосы посвящены работы [7]–[9], в которых разработана методика оценки предельного отклонения судна от рекомендованного маршрута, основанная на данных морфометрических характеристик рельефа дна арктических морей. В работах [7]–[10] оценка допустимого отклонения пути судна от обследованной полосы выполнена при условии, что за пределами обследованных полос сведения о глубинах полностью отсутствуют. В действительности, маршруты проходят по районам, в которых сведения о глубинах, как правило, все же имеются. Источником подобных сведений могут служить данные гидрографической съемки рельефа дна, выполненной в разные годы и с разной подробностью². Очевидно, что сведения об окружающих глубинах могут оказывать влияние на оценку допустимых отклонений судна от обследованных полос.

Задача о допустимом отклонении судов от обследованной полосы имеет важное практическое значение при планировании перехода крупнотоннажных судов в акватории СМП, а также при планировании перспективных гидрографических работ. Вместе с тем следует признать, что любое отклонение судна от обследованной полосы безопасным не является. По этой причине ширина обследованной полосы должна быть существенно расширена. Предложение ФГУП «Гидрографическое предприятие» расширить полосу обследования подводного рельефа с 2 км до 10 км на всей протяженности высокоширотных трасс нельзя признать оптимальным. Ширина полосы обследования на разных участках маршрута должна быть разной в зависимости от глубин и гидрографической изученности акватории.

Настоящая работа является продолжением исследований влияния гидрографической изученности акватории СМП на допустимые боковые отклонения от обследованного фарватера, выполняемые на кафедре гидрографии моря ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, в результате которых была разработана методика оценки отклонений от фарватера при условии полного отсутствия сведений о глубинах, окружающих фарватер с обеих сторон. Описание методики и результаты ее использования опубликованы в статье [10].

Целью настоящего исследования является разработка методики учета влияния сведений об окружающих фарватер глубинах на оценку допустимых отклонений крупнотоннажных судов от обследованных полос.

¹ ФГУП «Гидрографическое предприятие» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 14.07.2019).

² Сайт Администрации Северного морского пути [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nsrp.ru/> (дата обращения: 12.07.2019).

Методы и материалы (Methods and Materials)

При выполнении оценки гидрографической обеспеченности основной высокоширотной трассы использовалась схема высокоширотных трасс, приведенная на сайте ФГУП «Гидрографическое предприятие», морские навигационные карты акватории СМП масштаба 1 : 500000¹, а также размещенные на них схемы гидрографической изученности акваторий, через которые проходит основная высокоширотная трасса. За основу была взята методика вычисления боковых уклонений от обследованной полосы [10] и полученные с ее использованием количественные оценки.

Методика учета влияния сведений об окружающих глубинах на оценку допустимых уклонений крупнотоннажных судов от обследованных полос имеет следующее обоснование. Для высокоширотных трасс крупнотоннажных судов, эксплуатируемых в акватории СМП, в качестве критической глубины Z_{cr} принимается значение их максимальной осадки. На прямолинейном участке фарватера шириной B_0 выполнена площадная съемка, гарантирующая обнаружение множества глубин Z_0 , каждая из которых превышает установленное предельное значение Z_{cr} :

$$\{Z_0 > Z_{cr}\} \in B_0. \quad (1)$$

Схема обследованной полосы с обозначениями ее основных элементов показана на рис. 1.

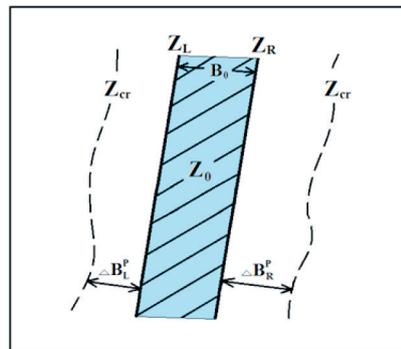


Рис. 1. Схема допустимых боковых уклонений от обследованной полосы

Глубины правой Z_R и левой Z_L кромок обследованной полосы принадлежат множеству Z_0 , поэтому для них также выполняются условия:

$$\{Z_R > Z_{cr}\} \in B_0; \quad (2)$$

$$\{Z_L > Z_{cr}\} \in B_0. \quad (3)$$

В случае, когда сведения о глубинах, расположенных за внешними границами полосы B_0 , отсутствуют, при решении задачи используются вероятностные оценки. По мере удаления от полосы, глубины $Z \notin B_0$ могут отличаться от критического значения глубины Z_{cr} как в меньшую, так и в большую сторону. При оценке предельно допустимого уклонения используется условие перестраховки, согласно которому при уклонении от полосы вправо или влево от нее всегда может встретиться глубина Z , имеющая значение, меньшее, чем Z_{cr} .

В качестве предельно допустимого уклонения ΔB принимается минимальное расстояние вправо или влево от полосы, на котором глубина $Z \notin B_0$ с определенной вероятностью может принимать значение, равное Z_{cr} . Для определения допустимых уклонений в работе [10] предложено использовать формулы:

$$\Delta B_R^p = (Z_R - Z_{cr}) \cdot \text{ctg } \gamma_p^{\max}; \quad (4)$$

$$\Delta B_L^p = (Z_L - Z_{cr}) \cdot \text{ctg } \gamma_p^{\max}. \quad (5)$$

¹ Каталог карт и книг ГУНиО РФ. Северный Ледовитый океан. № 7107. СПб: ГУНиО, 2009. Путевые карты Карского моря, моря Лаптевых, Восточно-Сибирского моря, Чукотского моря.

где γ_p^{\max} — предельное максимальное положительное значение угла наклона дна, полученное экспериментальным путем и соответствующее принятому уровню обеспеченности p ;

ΔB_R^p и ΔB_L^p — предельно допустимые уклоны от правой и левой кромок обследованной полосы, соответствующие принятому уровню обеспеченности p .

В формулах (4) и (5) в качестве постоянных величин принимаются параметры Z_{cr} и γ_p^{\max} , а в качестве переменных — измеренные глубины Z_R и Z_L . Из выражений (4) и (5) следует, что при увеличении Z_R или Z_L допустимые уклоны ΔB_R^p и ΔB_L^p возрастают, а при уменьшении глубин Z_R или Z_L показатели ΔB_R^p и ΔB_L^p уменьшаются. Предельно допустимые уклоны вправо и влево от обследованной полосы на рис. 1 отмечены пунктирными линиями.

С учетом ширины обследованной полосы B_0 и допустимых уклонов ΔB_R^p и ΔB_L^p ширина полосы маневрирования B_M определяется по формуле

$$B_M = B_0 + \Delta B_R^p + \Delta B_L^p. \quad (6)$$

В полосе B_0 отсутствие опасных глубин со значением менее Z_{cr} гарантируется с вероятностью, равной единице. В полосах ΔB_R^p и ΔB_L^p отсутствие опасных глубин гарантируется с принятым уровнем обеспеченности p .

Допустим, что участок обследованной полосы пересекает система параллельных промерных галсов G_i , где $i = 1, \dots, N$. Галсы отстоят друг от друга на одинаковом расстоянии L , на каждом из которых измерено множество глубин Z_{Gi} . Схема взаимного расположения обследованной полосы и промерных галсов показана на рис. 2.

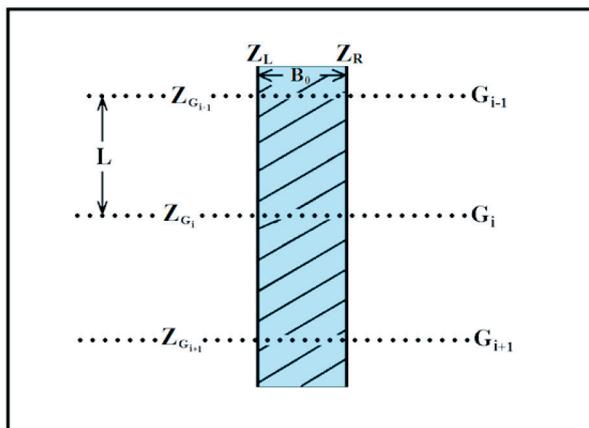


Рис. 2. Схема взаимного расположения обследованной полосы и промерных галсов

Глубины Z_{Gi} во внутренней области полосы B_0 совпадают с глубинами Z_0 , поэтому для них выполняется условие

$$[Z_{Gi} \in B_0] > Z_{cr}. \quad (7)$$

С учетом того, что при вычислении уклонов ΔB_R^p и ΔB_L^p по формулам (4) и (5) использовались условия перестраховки, можно утверждать, что для каждой глубины Z_{Gi} , попадающей во внутреннюю область полосы шириной $\Delta B_N^p = B_0 + \Delta B_R^p + \Delta B_L^p$, будет выполняться условие

$$[Z_{Gi} \in B_N^p] > Z_{cr}. \quad (8)$$

Следствием неравенства (8) является то, что дополнительная информация о глубинах за пределами полосы B_0 , позволяет на принятом уровне обеспеченности p расширить ширину полосы маневрирования. Уточненная ширина полосы безопасного маневрирования определяется выражением

$$B_M^* = B_0 + B_R^p + B_L^p. \quad (9)$$

В формуле (9) боковые уклоны B_R^p и B_L^p определяются выражениями:

$$\left. \begin{aligned} B_R^p &= \Delta B_R^p + \left(Z_{GR} - Z_{cr} - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma_p^{\max} \right) \operatorname{ctg} \gamma_R; \\ B_L^p &= \Delta B_L^p + \left(Z_{GL} - Z_{cr} - \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma_p^{\max} \right) \operatorname{ctg} \gamma_L, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где Z_{GR} и Z_{GL} — измеренные глубины в точках, отстоящих от правой и левой границ полосы B_0 на расстоянии ΔB_R^p и ΔB_L^p , соответственно, $Z_{GR} > Z_{cr}$ и $Z_{GL} > Z_{cr}$;

γ_R и γ_L — углы наклона дна по направлению галса вправо и влево от обследованной полосы.

Выражения (10) можно преобразовать к виду:

$$\left. \begin{aligned} B_R^p &= \Delta B_R^p + (Z_{GR} - Z_{cr}^*) \operatorname{ctg} \gamma_R; \\ B_L^p &= \Delta B_L^p + (Z_{GL} - Z_{cr}^*) \operatorname{ctg} \gamma_L, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где Z_{cr}^* — значение критической глубины с учетом поправки за гидрографическую изученность;

$$Z_{cr}^* = Z_{cr} + \frac{L}{2} \operatorname{tg} \gamma_p^{\max}.$$

Соотношения (11) удобно представить в виде рабочих формул:

$$\left. \begin{aligned} B_R^p &= \Delta B_R^p + \delta B_R(Z_{GR}, Z_{cr}^*); \\ B_L^p &= \Delta B_L^p + \delta B_L(Z_{GL}, Z_{cr}^*), \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

где $\delta B_R(Z_{GR}, Z_{cr}^*)$ и $\delta B_L(Z_{GL}, Z_{cr}^*)$ — соответственно горизонтальные расстояния, измеряемые на морских навигационных картах по линии галса между отметками глубин, значения которых приведены в круглых скобках.

Схема взаимного расположения границ допустимых боковых уклонов судна от полосы B_0 приведена на рис. 3.

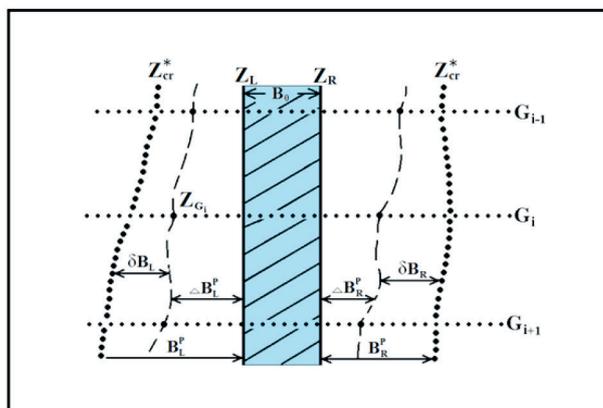


Рис. 3. Схема взаимного расположения границ допустимого уклона судна

Таким образом, измерение расстояний между отдельными точками на морских навигационных картах, соответствующих определенным значениям измеренных на галсах глубин, позволяет оценить влияние дополнительной информации о глубинах на допустимое безопасное уклонение судна от узкой обследованной полосы.

Результаты (Results)

Схема высокоширотных трасс показана на рис. 4 линиями синего цвета: пунктирные линии — альтернативная трасса, сплошные линии — основная трасса. Линии соответствуют полосам, имеющим ширину 2 км, в которых площадное обследование рельефа дна уже выполнено или будет выполнено. Цифрами на схеме обозначены границы прямолинейных участков основной трассы. Участки трассы, отмеченные цифрами от единицы до семи, проходят по Карскому морю,

участок трассы 7–8 относится к проливу Вилькицкого, участки 9–10, 10–11–8a, а также 11–13 относятся к акватории моря Лаптевых. Участки трассы 10a–15–16–17, а также 13–14–15 относятся к акватории Восточно-Сибирского моря. Участки трассы, проходящие по акватории Чукотского моря, на схеме не показаны.

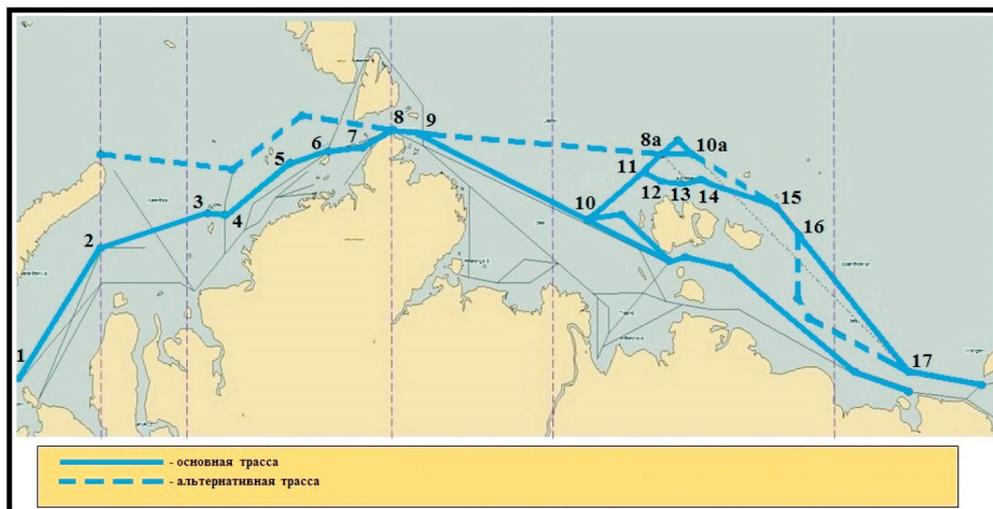


Рис. 4. Схема высокоширотных трасс

Обобщенные навигационно-гидрографические характеристики основной трассы приведены в таблице.

Навигационно-гидрографические характеристики основной высокоширотной трассы

Номера точек границ участков	Длина участка, км	Подробность съемки прилегающей акватории, м	Диапазон глубин, м	Допустимое уклонение $\Delta B_{R,L}^{0,95}$, км, при $Z_{CR} = 13$ м	Количественная оценка уклонения	
					$B_R^{0,95}$, км	$B_L^{0,95}$, км
1–2	570	500	44,0–50	9,7	>50	>50
2–3	360	1200	25,0–35	3,7	19	24
3–4	80	1200	45,6–50	10,2	10,2	10,2
4–5	250	500	27,4–40	4,5	6	6
5–6	130	1000	35,0–46	6,9	27	>50
10–8a	295	МП	24,4–26	3,6	3,6	3,6
8a–10a	100	МП	23,1–36	3,2	3,2	3,2
10a–15	245	МП	28,6–38	4,9	4,9	4,9
15–16	176	МП	22,4–29	3,0	3,0	3,0
16–17	625	МП	20,9–27	2,5	2,5	2,5
11–12	40	МП	20,6–28	2,4	2,4	2,4
12–13	25	2000	19,4–21	2,0	2,0	2,0
13–14	35	2000	21,0–23	2,5	2,5	2,5
14–15	270	2000	22,0–39	2,8	13	33

В графе 1 таблицы приведены номера прямолинейных участков трассы. В графе 2 показана протяженность каждого прямолинейного участка трассы, выраженная в километрах. В графе 3 приведены данные о подробности гидрографической съемки акватории, через которую проходят участки высокоширотной трассы. В качестве количественного показателя подробности гидрографической съемки в таблице использовано значение междугалсового расстояния, выраженное в метрах. На отдельных участках, в которых систематическая гидрографическая съемка рельефа

дна не выполнялась, подробность съемки обозначена аббревиатурой МП (маршрутный промер). В графе 4 приведен диапазон глубин в метрах. В графе 5 приведены оценки допустимых боковых уклонов $\Delta B_{R,L}^{0,95}$, которые получены при условии отсутствия информации об окружающих обследованную полосу глубинах. Значения боковых уклонов приведены в километрах. В графах 6 и 7 приведены оценки боковых уклонов $B_R^{0,95}$ и $B_L^{0,95}$, в которых учтены сведения об окружающих глубинах, полученных по результатам гидрографических работ прошлых лет. Значения уклонов приведены в километрах.

Обсуждение результатов (Discussion)

Сравнение данных, приведенных в графах 5–7 таблицы навигационно-гидрографических характеристик основной высокоширотной трассы, показывает, что допустимая величина уклонов существенно зависит от диапазона глубин и характера рельефа района, по которому проходит трасса. На мелководных участках значения уклонов уменьшаются, по мере увеличения глубин — возрастают. К участкам с относительно большой глубиной относятся участки 1–2, 3–4, 5–6 и 10а–15 (см. рис. 4), на которых уклоны $\Delta B_{R,L}^{0,95}$, приведенные в графе 5, превышают 4,9 км в обе стороны от трассы. Учет информации об окружающих глубинах и подробности съемки, на основе которой получена информация о глубинах, позволяет уточнить оценки уклонов.

По уточненным данным, на участках 1–2 и 5–6 оценки уклонов вправо и влево от трассы превысили 27 км. На участках 1–2 и 10а–15 оценки, приведенные в графах 6 и 7, не изменились по сравнению со значениями, приведенными в графе 5, по двум разным причинам. Участок 3–4 проходит по акватории, в которой систематический промер был выполнен, но допустимое уклонение ограничено малым расстоянием до отмелей островов Известий ЦИК и островов Арктического института. На участке 10а–15 оценка не изменилась из-за отсутствия достоверной информации об окружающих глубинах. Оценки уклонов на участках трассы 10–8а, 11–12 и 15–16, так же, как и оценки уклонов на отрезке 10а–15, не изменились из-за отсутствия достоверной информации об окружающих глубинах. На участках 12–13 и 13–14, так же, как и на участке 3–4, оценка не изменилась из-за ограничений, связанных с наличием с обеих сторон трассы опасных глубин, выявленных в ходе выполнения систематической съемки.

Детальное изучение распределения глубин и подробностей гидрографической съемки на участках акватории, по которой проходит основная высокоширотная трасса, позволяют выделить районы, в которых выполнение площадной съемки в пределах двухкилометровой полосы является явно недостаточным. К таким районам в первую очередь относятся части акватории с глубинами в диапазоне 20–30 м, а также районы, в которых сведения об окружающих глубинах получены по результатам маршрутного или систематического промера, выполненного с подробностью 2000 м на мелководных участках. На схеме, приведенной на рис. 5, красной штриховой линией выделены участки недостаточной гидрографической изученности.

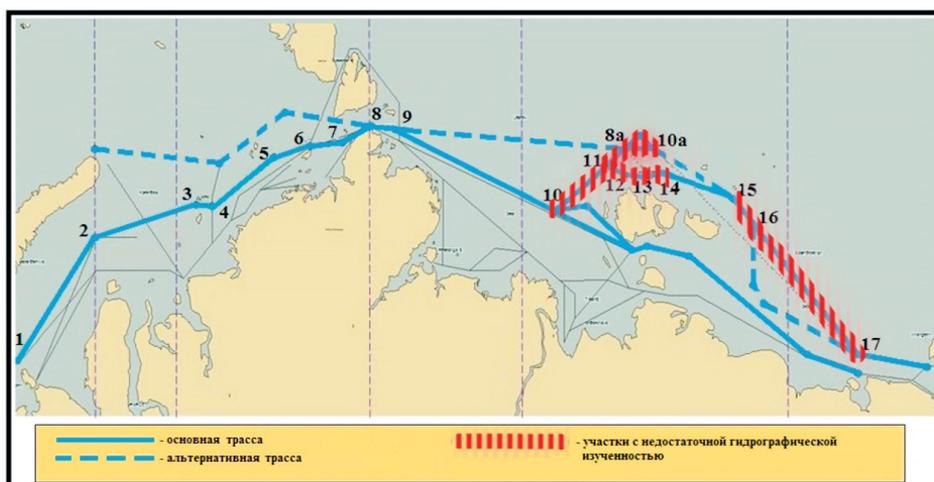


Рис. 5. Схема участков с недостаточной гидрографической обеспеченностью

Исследования параметров движения крупнотоннажных судов, выполняемых с использованием данных автоматизированных идентификационных и географических информационных систем [11]–[13], показали, что фактическая ширина полосы движения судов в летний навигационный период колеблется от 10 до 20 км в зависимости от района плавания. В зимний навигационный период при маневрировании во льдах ширина полосы движения существенно увеличивается. Поэтому при планировании площадного обследования высокоширотных трасс следует учитывать значения фактических отклонений движения судов от рекомендованного маршрута.

Выводы (Summary)

1. Разработанная методика учета информации об окружающих глубинах при оценке допустимых боковых уклонений подтвердила свою работоспособность. Учет информации об окружающих глубинах, как правило, позволяет увеличить оценку безопасной ширины маневрирования судов, относительно узкой обследованной полосы. Установлено, что величина оценки допустимого уклонения зависит от распределения глубин в акватории и подробности съемки, по данным которой получены сведения об окружающих глубинах.

2. Предложенная методика может быть использована в качестве теоретического обоснования при планировании переходов судов в акватории арктических морей, а также гидрографических работ и развития сети высокоширотных маршрутов для крупнотоннажных судов.

3. Полученные теоретические выводы и аналитические зависимости позволяют уточнить количественные оценки ширины полосы движения крупнотоннажных судов в акватории с недостаточной гидрографической изученностью подводного рельефа. В дальнейшем предполагается выполнение исследований, направленных на оценку фактических отклонений движения судов от рекомендованных маршрутов в разные периоды навигации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.
2. Тезиков А. Л. Гидрографическая изученность акватории Северного морского пути / А. Л. Тезиков, А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик // Транспорт Российской Федерации. — 2018. — № 2 (75). — С. 19–21.
3. Lee T. Barriers of voyaging on the Northern Sea Route: A perspective from shipping Companies / T. Lee, H. J. Kim // Marine Policy. — 2015. — Vol. 62. — Pp. 264–270. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.09.006
4. 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.
5. Бродский П. Г. Современные подходы к решению проблем обеспечения безопасности плавания судов и кораблей в Арктике / П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, А. Н. Лукин // Навигация и гидрография. — 2016. — № 42. — С. 12–19.
6. Бураковский Е. П. К вопросу об оценке рисков посадки судна на мель / Е. П. Бураковский, П. Е. Бураковский, В. А. Дмитриевский // Известия КГТУ. — 2013. — № 29. — С. 159–164.
7. 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.
8. 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.
9. Afonin A. B. Conventional and Deep-Water Shipping Passages Along the Northern Sea Route / A. B. Afonin, E. Olkhovik, A. Tezиков // Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic. — IGI Global, 2019. — Pp. 314–337. DOI: 10.4018/978-1-5225-6954-1.ch015.

10. Ольховик Е. О. Обоснование плана проведения площадного обследования высокоширотных маршрутов / Е. О. Ольховик, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 296–304. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-296-304.

11. Ольховик Е. О. Исследование плотности транспортных потоков 2018 года в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.

12. 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.

13. Chang K. Y. Route planning and cost analysis for travelling through the Arctic Northeast Passage using public 3D GIS / K. Y. Chang, S. S. He, C. C. Chou, S. L. Kao, A. S. Chiou // International Journal of Geographical Information Science. — 2015. — Vol. 29. — Is. 8. — Pp. 1375–1393. DOI: 10.1080/13658816.2015.1030672.

REFERENCES

1. Reshetnyak, S. V. “Gidrograficheskaya izuchennost’ podvodnogo rel’efa arkticheskikh morei Rossii.” *Geodeziya i kartografiya* 4 (2006): 57–60.

2. Tezиков, A. L., A. B. Afonin, and Ye. O. Olkhovik. “The state of hydrographic exploration of the Northern Sea Route water area.” *Transport of Russian Federation* 2(75) (2018): 19–21.

3. Lee, Taedong, and Hyun Jung Kim. “Barriers of voyaging on the Northern Sea Route: A perspective from shipping Companies.” *Marine Policy* 62 (2015): 264–270. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.09.006

4. Afonin, Andrej B., Ivan Yu. Korolev, and Aleksandr L. Tezиков. “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.

5. Brodskii, P. G., Yu. V. Rumyantsev, and A. N. Lukin. “Sovremennye podkhody k resheniyu problem obespecheniya bezopasnosti plavaniya sudov i korablei v Arktike.” *Navigatsiya i gidrografiya* 42 (2016): 12–19.

6. Burakovskii, E. P., P. E. Burakovskii, and V. A. Dmitrovskii. “K voprosu ob otsenke riskov posadki sudna na mel’.” *Izvestiya KGTU* 29 (2013): 159–164.

7. 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.

8. 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.

9. Afonin, Andrej, Evgeniy Olkhovik, and Alexander Tezиков. “Conventional and Deep-Water Shipping Passages Along the Northern Sea Route.” *Handbook of Research on International Collaboration, Economic Development, and Sustainability in the Arctic*. IGI Global, 2019. 314–337. DOI: 10.4018/978-1-5225-6954-1.ch015.

10. Olhovik, Evgeniy O., Andrej B. Afonin, and Aleksandr L. Tezиков. “A planning rationale for conducting the areal surveys of high-latitude routes.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 296–304. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-296-304.

11. Ol’khovik, Evgeniy O. “Research of the density of transports flows on the Northern Sea Route in 2018 year.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.

12. Olkhovik, E. O., E. V. Andreeva, and A. L. Tezиков. “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.

13. Chang, K. Y., S. S. He, C. C. Chou, S. L. Kao, and A. S. Chiou. “Route planning and cost analysis for travelling through the Arctic Northeast Passage using public 3D GIS.” *International Journal of Geographical Information Science* 29.8 (2015): 1375–1393. DOI: 10.1080/13658816.2015.1030672.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреева Екатерина Валерьевна — ассистент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Исаулова Кристина Яновна —
заведующая лабораторией
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Тезиков Александр Львович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: altezikov@yandex.ru, TezikovAL@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andreeva, Ekaterina V. — Assistant
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Esaulova, Kristina Y. —
Head of the laboratory
Admiral Makarov State University of Maritime and
Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035, Russian
Federation
e-mail: kaf_gm@gumrf.ru

Tezikov, Aleksandr L. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: altezikov@yandex.ru, TezikovAL@gumrf.ru

*Статья поступила в редакцию 23 июля 2019 г.
Received: July 23, 2019.*