

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68
УДК 528.47

А. Б. Афонин,
Е. О. Ольховик,
А. А. Тезиков

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПРОХОДНЫХ ГЛУБИН НА ТРАССАХ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОДРОБНОСТИ СЪЁМКИ РЕЛЬЕФА ДНА

В работе даётся оценка гидрографической изученности трасс Северного морского пути (СМП). Приводятся основные характеристики высокоширотных и традиционных прибрежных трасс. Обобщены сведения о распределении глубин по акватории арктических морей. Отмечается, что навигация по СМП реализуется по рекомендованным маршрутам, что связано с недостаточной гидрографической изученностью рельефа дна. Тяжёлые ледовые условия вынуждают суда отклоняться от рекомендованных путей как при самостоятельном плавании, так и под проводкой ледокола из-за риска получения ледовых повреждений. Подчеркивается, что предельная осадка судна, вычисленная по минимальной обнаруженной на трассе глубине при дискретных измерениях, не гарантирует безопасного плавания на трассе. При увеличении дискретности уровень доверия к вычисленному значению предельной осадки судна уменьшается, так как вероятность наличия меньшей глубины, чем минимальная обнаруженная на трассе, возрастает. Предлагается оригинальная методика оценки проходных глубин трасс СМП и приведены примеры расчётов.

Ключевые слова: Северный морской путь, гидрографическая изученность, проходная глубина, осадка судна, минимальная глубина, подробность съёмки.

Введение

Северный морской путь (СМП) пролегает через Карское море, море Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря, а также северо-восточную часть Баренцева и северную часть Берингова морей. Протяженность трасс СМП колеблется от 2700 миль для околополюсных до 3500 миль для прибрежных трасс. Общая протяженность трасс СМП превышает 14 тыс. миль. Вход на трассы СМП с запада осуществляется через пролив Карские Ворота или с севера от мыса Желания. Расстояние от порта Мурманск до пролива Карские Ворота составляет 528 морских миль, расстояние от порта Мурманск до мыса Желания — 758 морских миль. Вход на трассы СМП с востока осуществляется через пролив Дежнёва. Расстояние от мыса Дежнёва до порта Петропавловск-Камчатский составляет 1037 морских миль.

Арктические моря в основном мелководны, что подтверждается данными о распределении глубин по площади морей в табл. 1, а также данными работы [1]. В море Лаптевых и Восточно-Сибирском море глубины до 20 м занимают половину площади акватории и более. В Карском море эта доля достигает всего 9 %. По этим мелководным участкам пролегают основные традиционные прибрежные и высокоширотные трассы СМП.

Таблица 1

Распределение глубин по площади арктических морей

Диапазон глубин, м	Доля площади, %		
	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море
0 – 10	3,5	11,1	14
10 – 20	5,3	37,4	47

Таблица 1
(Окончание)

20 – 30	10,1	22,7	25,5
30 – 40	9,3	17,8	13,1
40 – 50	3,8	11,0	–
50 – 100	18,3	–	–
100 – 200	146	–	–
> 200	214	–	–

Основу коллекции навигационных морских карт составляют карты, изготовленные по материалам гидрографических исследований, выполненных до 1990 г. Детальность выполненной съёмки рельефа дна показана в табл. 2 [1]. В коллекцию также входят карты, составленные по материалам гидрографических работ, выполненных ФГУП «Гидрографическое предприятие» (официальный сайт — <http://www.hydro-state.ru>) с 2010 г. по настоящее время. Эти карты покрывают часть районов проектируемых транзитных высокоширотных трасс, а также акватории Обской губы и Енисейского залива с подходами [2].

Таблица 2

Распределение детальности съёмки рельефа дна по площади арктических морей

Детальность, м	Доля площади, %			
	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
≤ 500	28	35	15	9
1000	38	39	20	-
2000 – 4000	16	11	14	21
≥ 4000	10	10	10	–
Маршрутный	8	5	41	70

Постановка задачи исследований

Трассы СМП в основном пролегают по участкам арктических морей с многочисленными подводными опасностями, через архипелаги Северная Земля и Новосибирские острова, по проливам Дмитрия Лаптева, Вилькицкого и Шокальского. Судходство на акватории СМП осуществляется по рекомендованным путям. Существенного многолетнего опыта при прохождении данных трасс пока не накоплено, это относится как к периоду свободной навигации в чистой воде, так и при ледокольной проводке.

Представление о подводном рельефе акватории СМП основано на дискретных в плановом положении определениях глубин и их координат. Такой способ гидрографической съёмки не гарантирует обнаружение всех локальных поднятий дна, которые могут представлять собой навигационные опасности. Тяжёлые ледовые условия вынуждают суда отклоняться от рекомендованных путей как при самостоятельном плавании, так и под проводкой ледокола из-за риска получения ледовых повреждений. Значительное удаление от рекомендованных путей в условиях мелководья повышает риск аварий, связанных с посадкой на мель или касанием грунта в условиях недостаточной гидрографической изученности прилегающих акваторий.

В отчетных материалах [3] по транзитному переходу китайского судна «Yong Sheng» в период июль – август 2013 г. (при сопровождении ледокола «50 лет Победы») также отмечается недостаточная гидрографическая изученность акватории СМП. В частности, китайскими коллегами для обеспечения безопасности прохода были привлечены наиболее квалифицированные кадры компании COSCO и государственной морской администрации Китая, при этом отмечался высокий уровень качества услуг Администрации СМП и ФГУП «Атомфлот». Последний анализ

данного транзитного перехода представлен в работе [4], где предлагается использование многоуровневой системы выбора наиболее оптимальной трассы для транзита контейнерных грузов по СМП с совместным использованием данных по высокоширотным трассам, прибрежным и новым маршрутам.

Позиция по данному вопросу Крыловского государственного научного центра наиболее точно отражена в работе [5], где сделан вывод об экономической нецелесообразности контейнерных транзитных перевозок при загрузке судна в 500 TEU существующим флотом, а также предлагается постройка и использование ледокола-лидера мощностью 110 МВт, который может обеспечить 60-метровый канал для проводки судов с загрузкой не менее 3000 TEU. Однако при этом также надо учитывать, что использование ледокола-лидера не решает проблему недостаточной гидрографической изученности.

В работе В. С. Збарашенко [6] приводятся проектные расчеты арктической контейнерной линии по маршруту Мурманск — Петропавловск — Мурманск, при этом в качестве расчетного судна рассматривается контейнеровоз ледового класса ARC7 вместимостью до 2000 TEU и осадкой 10 – 11 м, а также отмечается, что при условии круглогодичной навигации и двухнедельной частоты линейного сервиса данные грузоперевозки не смогут составить конкуренцию южному маршруту через Суэцкий канал. Следует отметить, что предельная осадка судна, вычисленная по минимальной обнаруженной на трассе глубине при дискретных измерениях, не гарантирует безопасного плавания на трассе. При увеличении дискретности уровень доверия к вычисленному значению предельной осадки судна уменьшается, так как вероятность наличия глубины, меньшей, чем минимальная обнаруженная на трассе, возрастает.

Изученность этих трасс соответствует требованиям стандартов, действующих на момент съёмки, и обеспечивает плавание судов с осадкой до 6 – 7 м в условиях летне-осенней навигации. В период зимней навигации при ледокольной проводке безопасность транспортных судов обеспечивалась впереди идущим ледоколом, имеющим осадку 8 м или 12 м [7] – [9].

Следует отметить, что гидрографическая изученность акватории СМП по современным критериям Международной гидрографической организации [10] является недостаточной. Согласно этим критериям, на трассах СМП необходимо выполнить гидрографическую площадную съёмку, обеспечивающую выявление навигационных опасностей размерами 1×1 и 2×2 м в зависимости от запаса воды под килем судна [11]. В настоящее время таким условиям отвечают транзитные высокоширотные трассы СМП в пределах двухкилометровой полосы и подходы к портам Дудинка и Сабетта.

Прибрежные трассы СМП «оплаваны» мелкосидящими судами. Эксплуатация на прибрежных трассах судов с большой осадкой без дополнительного гидрографического обследования сопряжена с рисками навигационных происшествий. Плавание по рекомендованным путям осуществляют в районах с недостаточной гидрографической изученностью согласно правилам Администрации СМП [12]. Мелководье в сочетании со сложными ледовыми условиями Арктики являются основными осложняющими факторами круглогодичной навигации крупнотоннажных судов по СМП.

Разработка методики для оценки проходных глубин на трассах СМП

Предельная осадка судна, вычисленная по минимальной обнаруженной на трассе глубине при дискретных измерениях, не гарантирует безопасного плавания на трассе. При увеличении дискретности уровень доверия к вычисленному значению предельной осадки судна уменьшается, так как вероятность наличия глубины, меньшей, чем минимальная обнаруженная на трассе, возрастает.

Оценка предельной осадки судна $d(L)$, гарантирующей безопасность плавания по трассам на мелководье в условиях недостаточной гидрографической изученности ($L \neq 0$), определяется по формуле

$$d(L) = f[Z_{\min}(p), \Delta, \Delta L(p; L)], \quad (1)$$

где L — дискретность измерений глубин; $Z_{\min}(p)$ — минимальная глубина, определённая с вероятностью p ; Δ — принятый запас воды под килем; $\Delta_L(p; L)$ — поправка за неопределённость значения минимальной глубины, учитывающая морфологические и морфометрические особенности подводного рельефа, его тип и диапазон глубин акватории.

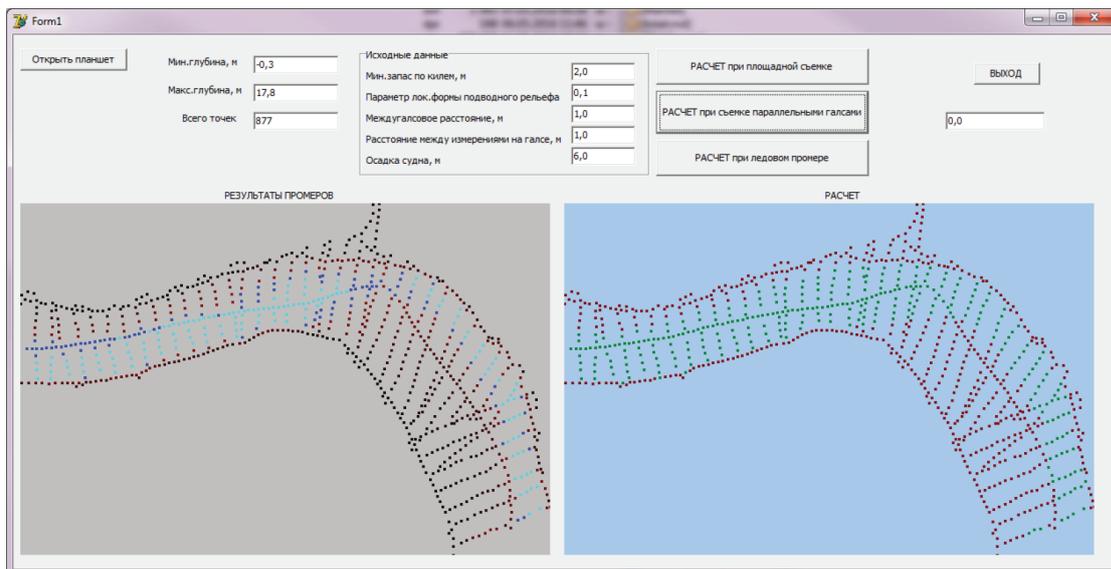
Для площадной съёмки справедливы соотношения:

$$\Delta_L(p = 1; L \rightarrow 0) = 0; \quad (2)$$

$$d(L \rightarrow 0) = f[Z_{\min}(p = 1), \Delta]. \quad (3)$$

Формулы (1) – (3) использованы для расчёта предельных осадок судов на трассах СМП. Для автоматизации расчетов была разработана программа ЭВМ для расчета предельной осадки судна, предназначенная для следующих видов гидрографической съёмки подводного рельефа: площадной съёмки, съёмки параллельными галсами, ледового промера и маршрутного промера. Использование программы возможно как для научных, так и для учебных целей, импорт данных планшетов съёмки выполняется из текстового файла, содержащего координаты промеров глубин. Тип реализующей ЭВМ — IBM PC-совместимый персональный компьютер. Язык программирования — ObjectPascal (среда разработки — Lazarus, Delphi). Вид и версия операционной системы — Windows 2003/XP/7, Linux (Ubuntu).

На рисунке приведены результаты расчетного определения проходных глубин, соответствующих предельной осадке судна 6,0 м. Верхнее окно отображает основные параметры исходного массива глубин, в левом окне отображён исходный массив глубин, в правом — область проходных глубин. Данная методика использовалась для оценки проходных глубин на трассах СМП [8].



Расчетные проходные глубины для судна с осадкой 6 м

В табл. 3 приведены характеристики высокоширотных трасс СМП, обследованных в период 2010 – 2015 гг. методом площадной съёмки. Площадная съёмка обеспечивает достаточную гидрографическую изученность акватории высокоширотных трасс [10]. В первой графе указаны прямые и обратные курсы прямолинейных участков рекомендованного пути [2]. Во второй графе приведены минимальные глубины, обнаруженные на выделенных прямолинейных участках рекомендованного пути. Площадная съёмка позволила обнаружить минимальные глубины и все имеющиеся подводные препятствия, опасные для судоходства. В третьей графе приведены значения проходных глубин, причем проходные глубины отличаются от минимальных на величину свободного запаса воды, равного 2,0 м. В четвертой графе указан вид проведения съёмки.

Таблица 3

Характеристики высокоширотных трасс

Курс (прямой — обратный)	Минимальная глубина, м	Проходная глубина, м	Подробность съёмки
Западная часть			
36,2 – 216,2	44	42	Площадная съёмка
74,5 – 254,5	25	23	Площадная съёмка
90 – 270	45	43	Площадная съёмка
56,4 – 236,4	27	25	Площадная съёмка
65,6 – 245,6	35	33	Площадная съёмка
Средняя часть			
53,1 – 233,1	24	22	Площадная съёмка
90 – 270	19	17	Площадная съёмка
61,3 – 241,3	21	19	Площадная съёмка
94 – 274	23	21	Площадная съёмка
53,1 – 233,1	24	22	Площадная съёмка
Восточная часть			
106,2 – 286,2	22	20	Площадная съёмка
132,5 – 312,5	22	20	Площадная съёмка
137,7 – 317,7	20	18	Площадная съёмка
119 – 299	28	26	Площадная съёмка

В табл. 4 приведен характерный фрагмент прибрежной трассы СМП и его основные параметры.

Таблица 4

Характеристики фрагмента прибрежной трассы

Выход из проливов Вилькицкого и Шокальского				
Курс (прямой – обратный)	Протяжённость, км	Глубины (мин./макс.), м	Проходная глубина, м	Подробность съёмки (междугалсовое расстояние L , м)
112,4 – 292,4	102	25/66	15,0	500
126,4 – 306,4	194	18/60	6,0	1000
0 – 180	104	20/185	2,0	2000

Следует обратить внимание, что расхождение между минимальными и проходными глубинами возрастает при уменьшении подробности съёмки (увеличении параметра L), а оценка вероятности пропуска опасных глубин, которая также имеет зависимость от дискретности съёмки, может быть выполнена по методике [13].

Выводы

1. Разработаны методики для оценки проходных глубин на трассах СМП, которые учитывают как гидрографическую изученность трасс, так и морфологические и морфометрические особенности подводного рельефа.

2. Расчетные данные позволяют оценить возможную минимальную осадку судна в целях обеспечения безопасности мореплавания и выявления более оптимальных маршрутов, что является актуальным при разработке новых маршрутов СМП.

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. ФГУП «Гидрографическое предприятие» [Электронный ресурс]: официальный сайт. — Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 23.06.2016).
3. Zhao H. Study on Economic Evaluation of Northern Sea Route: Taking Voyage of Yong Sheng as an Example / H. Zhao, H. Hu // Transportation Research Board 95th Annual Meeting. — 2016. — № 16-6420.
4. Zhao H. Study on China-EU container shipping network in the context of Northern Sea Route / H. Zhao, H. Hu, Y. Lin // Journal of Transport Geography. — 2016. — Vol. 53. — Pp. 50–60. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2016.01.013.
5. Тимофеев О. Я. «Лидер» вместо «Ленина» / О. Я. Тимофеев // Военно-промышленный курьер. — 2016. — № 6 (621) — (доступ с экрана – <http://vpk-news.ru/articles/29216>).
6. Збаращенко В. С. Арктическая контейнерная линия Мурманск – Петропавловск – Мурманск / В. С. Збаращенко // Вторая международная конф. «Транспорт и логистика в Арктике – 2016». — 2016. — С. 61–67.
7. Баталин Г. А. Навигационно-гидрографическое обеспечение мореплавания в арктическом регионе / Г. А. Баталин, С. В. Решетняк // Морской флот. — 2008. — № 3. — С. 34–38.
8. Дмитриев А. А. История мореплавания по трассе Северного морского пути в XX и начале XXI века / А. А. Дмитриев, Ю. А. Горбунов, В. Т. Соколов. — СПб.: Морская энциклопедия, 2015. — Т. III. — 304 с.
9. Разработка методов прогноза типов ледовых условий в юго-западном и северо-восточном районах Карского моря в зимний период: отчёт о НИР / ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова; отв. исполн. А. Б. Афонин. — СПб., 2015. — 101 с. — № ГР 115101370010.
10. Стандарт Международной гидрографической организации S-44/5. — Монако, 2008.
11. Оценка влияния навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условий на судоходство по Северному морскому пути: отчёт о НИР / ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова; отв. исполн. А. Б. Афонин. — СПб., 2016. — 50 с.
12. АСМП. Правила плавания по СМП [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.nsr.ru/pravila_plavaniya/ (дата обращения: 23.06.2016).
13. Афонин А. Б. Особенности построения изобат в условиях недостаточной гидрографической изученности подводного рельефа / А. Б. Афонин, С. А. Лутков, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 90–95.

DEVELOPMENT OF THE ASSESSMENT METHODS OF ANADROMOUS DEPTHS ON THE NORTHERN SEA ROUTE DEPENDING ON THE DETAIL OF SURVEY OF THE BOTTOM RELIEF

In work the assessment of hydrographic study of routes of the Northern Sea Route (NSR) is given. The main characteristics of high-altitude and traditional coastal routes are provided. In article data on distribution of depths on the water area of the Arctic seas are generalized. It is noted that navigation on SMP is realized along the recommended routes that is connected with insufficient hydrographic study of a relief of a bottom. Severe ice conditions force vessels to deviate from the recommended ways, both at independent swimming, and under conducting of the ice breaker because of risk of ice damages receiving. The extreme draft of the vessel calculated on the minimum depth found on the route at discrete measurements doesn't guarantee safe swimming on the route. At increase in discretization the level of credibility to the calculated value of extreme draft of the vessel decreases as the probability of presence of depth, smaller, than minimum found on the route, increases. The original technique of an assessment of depths through passage of routes NSR is offered and examples of calculations are given.

Keywords: Northern Sea Route, hydrographic study, depth through passage, vessel draft, minimum depth, shooting detail.

REFERENCES

1. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic seas underwater relief of Russia." *Geodesy and Cartography* 4 (2006): 57–60.
2. FGUP «Gidrograficheskoe predpriyatie». Web. 23 June 2016 <<http://www.hydro-state.ru/>>.
3. Zhao, Hui, and Hao Hu. "Study on Economic Evaluation of Northern Sea Route: Taking Voyage of Yong Sheng as an Example." *Transportation Research Board 95th Annual Meeting*. No. 16-6420. 2016.
4. Zhao, Hui, Hao Hu, and Yisong Lin. "Study on China-EU container shipping network in the context of Northern Sea Route." *Journal of Transport Geography* 53 (2016): 50–60. DOI:10.1016/j.jtrangeo.2016.01.013.
5. Timofeev, O. Ja. "«Lider» vmesto «Lenina»." *Voенно-promyshlennyj kur'er* 6(621) (2016).
6. Zbarashhenko, V. S. "Arkticheskaja kontejnernaja linija Murmansk – Petropavlovsk – Murmansk." *Vtoraja mezhdunarodnaja konferencija «Transport i logistika v Arktike – 2016»*. M., 2016: 61–67.
7. Batalin, G., and S. Reshetnyak. "The navigational and hydrographic support for shipping in the Arctic region." *Marine Fleet* 3 (2008): 34–38.
8. Dmitriev, A. A., Ju. A. Gorbunov, and V. T. Sokolov. *Istorija moreplavaniya po trasse Severnogo morskogo puti v HH i nachale HHI veka*. Vol. III. SPb.: Morskaja jenciklopedija, 2015.
9. Razrabotka metodov prognoza tipov ledovyh uslovij v jugo-zapadnom i severo-vostochnom rajonah Karskogo morja v zimnij period: otchjot NIR № G/r 115101370010; Otv. Isp. A.B. Afonin. SPb.: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2015.
10. Standart Mezhdunarodnoj gidrograficheskoj organizacii S-44/5. Monako, 2008.
11. Ocenka vlijaniya navigacionno-gidrograficheskij i gidrometeorologicheskij uslovij na sudohodstvo po Severnomu morskomu puti: otchjot o NIR; Otv. Isp. A.B. Afonin. SPb.: GUMRF imeni admirala S.O. Makarova, 2016.
12. ASMP. Pravila plavaniya po SMP. Web. 23 June 2016 <http://www.nsra.ru/ru/pravila_plavaniya/>.
13. Afonin, A. B., S. A. Lutkov, and A. L. Tezikov. "Features creation of depth contours in the conditions of insufficient hydrographic study of the seabed." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(32) (2015): 90–95.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Афонин Андрей Борисович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
andrey.afonin.gma@yandex.ru, kaf_gm@gumrf.ru
Ольховик Евгений Олегович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
olhovikeo@gumrf.ru
Тезиков Александр Львович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
altezikov@yandex.ru, TezikovAL@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Afonin Andrej Borisovich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
andrey.afonin.gma@yandex.ru, kaf_gm@gumrf.ru
Ol'hovik Evgenij Olegovich —
PhD, associate professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
olhovikeo@gumrf.ru
Tezikov Aleksandr L'vovich —
Dr. of Technical Sciences, professor.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
altezikov@yandex.ru, TezikovAL@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 24 июня 2016 г.