

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-88-94

## VERIFICATION OF METHODS FOR ASSESSMENT OF THE PERMISSIBLE VESSEL VARIATION FROM THE HIGH-LATITUDE NORTHERN SEA ROUTE

**I. Ju. Korolev**

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

*The article is devoted to the development of quantitative indicators and methods of evaluation of safe navigation at high-latitude routes of the Northern sea route (NSR). In connection with the expected significant growth in transit freight traffic and increasing volume of export of hydrocarbons produced in the Arctic zone, the question of the use of the high-latitude tracks the currently acquired important practical significance. High-latitude Northern sea route tracks from the Kara Strait from the South or Cape Zhelaniya North of Novaya Zemlya archipelago to the North of the Novosibirsk Islands to the Bering Strait. Trails are in areas not covered by systematic measurements. In 2010-2013, the route was surveyed in the swath width of 2 km. High-latitude Northern sea route, intended for navigation of large ships with a draught up to 15 m. Circumstances arise that force the court to go beyond the surveyed lanes in areas with a lack of hydrographic knowledge that can lead to grounding. In this paper the results of quantitative evaluation of the allowable limit of the deviation of the vessel from the boundaries of the surveyed strip of the high-latitude route. The calculations are performed in accordance with the methodology proposed earlier by the author in 2016. Quantitative dependence of the deviation from the value measured depths, ruggedness of the topography and slope of the bottom within the surveyed strip. The amount of deviation depends on the ratio of the measured depths and established threat to the vessel depth. The estimates are obtained for the confidence probability 0.68; 0.95 and 0.999. This General advice on the application of the method for the evaluation of the tolerance of the way the court-in from the recommended route in conditions of poor hydrographic bottom topography.*

*Keywords: Northern sea route, high-latitude route, area about-following, the deviation of the path of the vessel, depth, variance, confidence interval.*

**For citation:**

Korolev, Ivan Ju. "Verification of methods for assessment of the permissible vessel variation from the high-latitude Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.1 (2017): 88–94. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-88-94.

УДК 528.47

## ПРОВЕРКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ДОПУСТИМОГО ОТКЛОНЕНИЯ СУДНА ОТ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ТРАССЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

**И. Ю. Королев**

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

*Статья посвящена проблеме разработки количественных показателей и методик оценки безопасного плавания по высокоширотным трассам Северного морского пути (СМП). В связи с ожидаемым значительным ростом транзитного грузопотока и увеличением объема вывоза углеводородов, добываемых в Арктической зоне, вопрос об использовании высокоширотных трасс в настоящее время приобрел важное практическое значение. Высокоширотные трассы проходят от пролива Карские Ворота с юга или мыса Желания с севера от архипелага Новая Земля, севернее Новосибирских островов до Берингова пролива. Трассы проложены в районах, не обеспеченных систематическим промером. В 2010 – 2013 гг. трассы были обследованы в полосе шириной 2 км. Высокоширотные трассы СМП предназначены для плавания крупнотоннажных судов с осадкой до 15 м. Возникают обстоятельства, вынуждающие суда выходить за пределы обследованной полосы в районы с недостаточной гидрографической изученностью, что может привести к посадке на мель. В данной работе приведены результаты количественной оценки допустимого предела отклонения судна от границ обследованной полосы высокоширотной трассы. Расчёты выполнены*

в соответствии с ранее опубликованной автором методикой в 2016 году. Установлены количественные зависимости отклонения от величины измеренных глубин, расчленённости рельефа и наклона дна в пределах обследованной полосы. Величина отклонения зависит от соотношения измеренных глубин и установленной опасной для судна глубины. Оценки выполнены для доверительных вероятностей 0,68; 0,95 и 0,999. Даны общие рекомендации по применению метода для оценки допустимого отклонения пути судна от рекомендованного маршрута в условиях недостаточной гидрографической изученности рельефа дна.

*Ключевые слова:* Северный морской путь, высокоширотные трассы, площадное обследование, отклонение пути судна, глубины, дисперсия, доверительный интервал.

**Для цитирования:**

Королев И. Ю. Проверка методики оценки допустимого отклонения судна от высокоширотной трассы Северного морского пути / И. Ю. Королев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 88–94. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-88-94.

### Введение

В ближайшие годы ожидаемый прирост транзитного грузопотока по трассам СМП может составить 10 млн т, а по вывозу углеводородов, добываемых в Арктической зоне, достичь 60 – 80 млн т [1], [2]. Направить такой поток только на традиционные прибрежные трассы невозможно, так как из-за малых глубин прибрежные трассы могут безопасно эксплуатироваться только в летне-осеннюю навигацию судами с осадкой до 6 – 7 м [3]. Режим продленной и тем более круглогодичной навигации на большей части прибрежных трасс осуществлён быть не может из-за тяжелых ледовых условий в прибрежной зоне и глубин, недостаточных для атомных ледоколов, имеющих осадку 8 – 11 м [4], [5].

Ожидаемый грузопоток может быть направлен либо на приполюсные трассы, либо на высокоширотные [3]. Приполюсные трассы на всем своем протяжении имеют большие глубины, но практически круглый год покрыты многолетними труднопроходимыми льдами. Кроме того, они удалены от берега на значительные расстояния, что затрудняет проведение вероятных морских аварийно-спасательных операций. Высокоширотные трассы по сравнению с приполюсными имеют некоторые преимущества, связанные с меньшей удаленностью от берега и более легкими ледовыми условиями. Особенности этих трасс является то, что они проходят через районы с недостаточной гидрографической изученностью дна, часть из которых имеет относительно небольшие глубины.

К высокоширотным трассам, предназначенным для плавания крупнотоннажных судов с осадкой до 15 м, относятся [6]:

- основная высокоширотная трасса, которая проходит от пролива Карские Ворота до Берингова пролива;
- альтернативная высокоширотная трасса, которая проходит от мыса Желания до мыса Дежнева.

В настоящее время в двухкилометровой полосе основной высокоширотной трассы и отдельных участков альтернативной трассы выполнено площадное обследование, результаты которого приведены в табл. 1, данные которой заимствованы с официального сайта ФГУП «Гидрографическое предприятие» [7]. В первой графе приведены номера поворотных точек трассы, во второй — их координаты, в третьей — прямой и обратный курс участка, в четвертой — ширина обследованного участка, в пятой — минимальная обнаруженная на участке глубина.

Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что часть высокоширотных трасс проходит по мелководью с глубинами 19 – 45 м. За пределами обследованной полосы гидрографическая изученность акваторий крайне низкая. Поэтому выход судна за границы обследованной полосы представляется чрезвычайно опасным, особенно на участках с глубинами 19 – 25 м.

**Навигационная характеристика основной высокоширотной трассы**

Номер поворотной точки	Координаты WGS84		Курс, °	Ширина обследованного участка, км	Минимальная глубина, м
	широта	долгота			
1	70°40,00'N	058°09,85'E	36,2° – 216,2°	2	44,0
2	74°50,05'N	068°29,85'E			
3	75°45,00'N	081°30,00'E	74,5° – 254,5°	2	25,0
4	75°45,00'N	084°00,00'E	90,0° – 270,0°	2	45,6
5	77°00,00'N	092°00,00'E	56,4° – 236,4°	2	27,4
6	77°30,00'N	097°04,47'E	56,4° – 236,4°	2	27,4
			65,6° – 245,6°	2	35,0
10	75°30,00'N	128°34,00'E	53,1° – 233,1°	2	24,4
11	76°44,87'N	135°30,17'E			
12	76°36,00'N	138°40,00'E	90,0° – 270,0°	2	19,4
13	76°36,00'N	140°00,86'E	61,3° – 241,3°	2	21
14	76°42,43'N	140°51,67'E			
8a	77°14,83'N	138°27,52'E	94,0° – 274,0°	2	23,1
10a	77°11,00'N	142°36,50'E			
11	76°44,87'N	135°30,17'E	53,1° – 233,1°	2	24,4
8a	77°14,83'N	138°27,52'E			
14	76°42,43'N	140°51,67'E	106,2° – 286,2°	2	22,0
15	75°54,00'N	152°35,00'E	132,5° – 312,5°	2	22,4
16	75°00,00'N	156°30,00'E	137,7° – 317,7°	1,4	20,9
17	71°00,00'N	169°00,00'E			
10a	77°11,00'N	142°36,50'E	119,0° – 299,0°	2	28,6
15	75°54,00'N	152°35,00'E			

Вполне реально возникновение обстоятельств, вынуждающих судно покинуть пределы этой полосы, которые приведены в работе [8]. В этой же работе приводится методика оценки допустимых пределов безопасного выхода судна за границы полосы обследования. Допустимое отклонение уменьшается в сторону уменьшения глубин и увеличивается в противоположную сторону.

Арктические моря отличаются обширными мелководными районами часто со слабо выраженным наклоном и сравнительно низкой гидрографической изученностью [9]. При таких условиях безопасность плавания достигается снижением скорости судна и проведением ряда других мероприятий, направленных на снижения риска, связанного с касанием грунта или посадкой судна на мель. Методы определения опасных глубин и изобат в условиях недостаточной гидрографической изученности рассмотрены в работах [10], [11]. С учетом того, что практически вся существующая коллекция морских навигационных карт и планов арктических морей основана не на площадных, а на дискретных методах обследования дна с использованием однолучевых эхолотов, результаты этих работ относятся в основном к дискретным методам съемки.

Площадная съёмка рельефа дна с применением многолучевых эхолотов [12] представляет собой качественно новый метод гидрографических исследований, который обеспечивает получение исчерпывающей информации, достаточной для определения основных морфометрических характеристик рельефа. Применение традиционных гидрографических технологий с использованием дискретных измерений [13] не позволяло ставить и решать подобные задачи.

### Цель и задачи исследования

Целью работы является проверка методики количественной оценки допустимых пределов отклонения судна от границ обследованной полосы, предложенной в работе [8]. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработка алгоритма вычислений;
- апробация алгоритма при различных входных данных;
- оценка зависимости полученных отклонений от заданной доверительной вероятности;
- оценка возможности применения предложенного метода [8] в практику арктического судоходства.

В качестве исходных использованы данные основной высокоширотной трассы, навигационные характеристики которой приведены в табл. 1.

Расчёты допустимых пределов отклонения выполнены для доверительных вероятностей 0,68; 0,95 и 0,999.

### Проверка методики количественной оценки допустимых пределов отклонения судна от границ обследованной полосы

В общем случае величина отклонения  $\Delta y$  судна от середины обследованной полосы  $\bar{y}$  определяется из решения следующего уравнения [8]:

$$Z_d = a + b \cdot \Delta y - t_p \cdot \sigma_z \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\Delta y^2}{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где  $Z_d$  — опасная глубина за пределами обследованной полосы;  $a$  и  $b$  — коэффициенты уравнения регрессии, соответствующего профилю рельефа в пределах обследованной полосы;  $\Delta y$  — отклонение судна от середины обследованной полосы;  $\bar{y}$  — ордината середины обследованной полосы;  $t_p$  — коэффициент Стьюдента, соответствующий заданной доверительной вероятности  $p$ ;  $\sigma_z$  — показатель вертикальной расчленённости рельефа дна;  $y_i$  — ордината глубин в пределах обследованной полосы ( $y_L \leq y_i \leq y_R$ );  $y_L$  и  $y_{PR}$  — ординаты точек допустимого отклонения пути судна слева и справа от обследованной полосы;  $n$  — количество отметок глубин на профиле.

Интервал  $y_L \leq y \leq y_R$  разбивается на  $n$  частей, что позволяет сформировать дискретную выборку пар значений  $y_i$  и  $Z_i$ , которые используются для вычисления коэффициентов  $a$  и  $b$  по формулам [14]:

$$\left. \begin{aligned} b &= \frac{\sum_1^n y_i \cdot \sum_1^n Z_i - n \cdot \sum_1^n (y_i \cdot Z_i)}{\left(\sum_1^n y_i\right)^2 - n \cdot \sum_1^n y_i^2}; \\ a &= \frac{\sum_1^n y_i \cdot \sum_1^n (y_i \cdot Z_i) - \sum_1^n y_i^2 \cdot \sum_1^n Z_i}{\left(\sum_1^n y_i\right)^2 - n \cdot \sum_1^n y_i^2}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Показатель вертикальной расчленённости  $\sigma_z$  вычисляется по этой же выборке глубин  $Z_i$  по формуле [13]:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n-2}}, \quad (3)$$

где верхняя черта означает среднее значение измеренного параметра.

Результаты вычисления приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Оценки допустимых пределов отклонений судна  
от границ участков высокоширотных трасс**

Номер участка трассы	Минимальная глубина, м	Оценка допустимого отклонения при доверительной вероятности, мили		
		0,68	0,95	0,999
1 – 2	44,0	7,1	7,0	6,5
2 – 3	25,0	2,0	1,9	1,6
3 – 4	45,6	7,7	7,6	7,3
4 – 5	27,4	2,7	2,5	2,3
5 – 6	27,4	2,7	2,5	2,3
10 – 11	24,4	1,9	1,7	1,5
12 – 13	19,4	0,5	0,4	0,1
13 – 14	21,0	0,9	0,8	0,5
8a – 10a	23,1	1,5	1,4	1,1
11 – 8a	24,4	1,9	1,7	1,5
14 – 15	22,0	1,2	1,1	0,8
15 – 16	22,4	1,3	1,2	0,9
16 – 17	20,9	0,9	0,8	0,5
10a – 15	28,6	3,0	2,9	2,6

При расчётах за опасную глубину принималась глубина 17 м.

Результаты вычислений позволяют отметить следующие закономерности. Минимально допустимые отклонения относятся к участку 12 – 13. При доверительной вероятности 0,68 минимально допустимое отклонение составляет 0,5 миль, при доверительной вероятности — 0,95 – 0,4 мили и при доверительной вероятности — 0,999 – 0,1 мили.

Максимальные допустимые отклонения относятся к участку 3 – 4. При доверительной вероятности 0,68 максимально допустимое отклонение составляет 7,7 миль, при доверительной вероятности — 0,95 – 7,6 миль и при доверительной вероятности — 0,999 – 7,3 миль.

На участке 12 – 13 минимальная глубина отличается от опасной глубины на 2,4 м. Этот участок самый мелководный и поэтому отклонение от его границ влево и вправо практически недопустимо. На участке 3 – 4 допустимы максимальные отклонения от его границ, так как этот участок самый глубоководный из приведённых в табл. 1 и 2 на трассе. Минимальная глубина на этом участке отличается от опасной глубины на 28,6 м.

Для каждого участка величина допустимого предела отклонения зависит от выбранной для него доверительной вероятности. Чем больше доверительная вероятность оценки отклонения, тем её величина меньше. Эта зависимость нелинейная. Её нелинейный характер сильнее проявляется на участках, где разность между минимальной и опасной глубинами наименьшая.

### Выводы

1. Задача количественной оценки допустимых пределов отклонения судна от границ обследованной полосы является новой, так как её постановка и предложение решений стало возможным только после появления и применения в гидрографии многолучевых акустических систем, обеспечивающих площадное непрерывное обследование дна.

2. Методика количественной оценки допустимых пределов отклонения судна от границ обследованной полосы, предложенная в работе [8], показала свою работоспособность.

3. Результаты расчётов не противоречат сложившимся представлениям о безопасном судоходстве в условиях недостаточной гидрографической изученности.

4. Методика может быть использована при разработке рекомендаций по плаванию крупнотоннажных судов по высокоширотным трассам, обследованным в ограниченной полосе.

5. Эта методика может быть использована при планировании и выполнении спасательных операций, а также при планировании гидрографических работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олерский В. Комплексный проект развития Северного морского пути / В. Олерский // Транспортная стратегия — XXI век. — 2015. — № 29 (2). — С. 8–9.

2. Давыденко А. А. Северный морской путь — комплексный инфраструктурный проект / А. А. Давыденко // Транспортное дело России. — 2010. — № 3. — С. 3–4.

3. Проблемы Северного морского пути / под ред. А. Г. Гранберга, В. И. Пересыпкина. — М.: Наука, 2006. — 581 с.

4. Рукша В. В. Структура и динамика грузоперевозок по Северному морскому пути: история, настоящее и перспективы / В. В. Рукша, М. С. Белкин, А. А. Смирнов [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2015. — № 4 (20). — С. 104–110.

5. Сазонов К. Е. Влияние мелководья на ледовые качества судна / К. Е. Сазонов, А. В. Рыжков // Мир транспорта. — 2013. — Т. 11. — № 4 (48). — С. 40–47.

6. Баталин Г. А. Навигационно-гидрографическое обеспечение в Арктическом регионе / Г. А. Баталин, С. В. Решетняк // Морской флот. — 2008. — № 3. — С. 34–38.

7. ФГУП «Гидрографическое предприятие» [Электронный ресурс]: официальный сайт. — Режим доступа: <http://www.hydro-state.ru/> (дата обращения: 06.01.17).

8. 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.

9. Решетняк С. В. Гидрографическая изученность подводного рельефа арктических морей России / С. В. Решетняк // Геодезия и картография. — 2006. — № 4. — С. 57–60.

10. 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.

11. Афонин А. Б. Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съемки рельефа дна / А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4 (38). — С. 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.

12. IHO Standards for Hydrographic Surveys. — 5<sup>th</sup> Edition. — February 2008. — Special Publication № 44. — International Hydrographic Bureau, Monaco. — 27 p.

13. Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна. — МО СССР ГУНиО, 1984. — Часть II. Требования и методы. — 263 с.

14. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ / Н. Дрейпер, Г. Смит. — ООО «И. Д. «Вильямс», 2007. — 912 с.

## REFERENCES

1. Olerskii, V. “Kompleksnyi proekt razvitiya Severnogo morskogo puti.” *Transportnaya strategiya — XXI vek* 29(2) (2015): 8–9.

2. Davydenko, A. A. “Severnyi morskoi put’ — kompleksnyi infrastruktturnyi proekt.” *Transport business of Russia* 3 (2010): 3–4.

3. Granberg, A. G., and V. I. Peresyarkin, eds. *Problemy Severnogo morskogo puti*. M.: Nauka, 2006.

4. 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.
5. Sazonov, Cyril E., and Alexander V. Ryzhkov. "Shallow water impact on ice performance of the ships". *Mir transporta* 11.4(48) (2013): 40–47.
6. Batalin, G., and S. Reshetnyak. "The navigational and hydrographic support for shipping in the Arctic region." *Marine Fleet* 3 (2008): 34–38.
7. FGUP «Gidrograficheskoe predpriyatie». Web. 6 Jan. 2017 <<http://www.hydro-state.ru/>>.
8. Korolev, I. Yu. "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.
9. Reshetnyak, S. V. "Hydrographic study of the Arctic sees underwater relief of Russia." *Geodesy and cartography* 4 (2006): 57–60.
10. Afonin, A. B., S. A. Lutkov, and A. L. Tezиков. "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.
11. Afonin, A. B., E. O. Ol'hovik, and A. L. Tezиков. "Development of the assessment methods of anadromous depths on the northern sea route depending on the detail of survey of the bottom relief." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(38) (2016): 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.
12. *IHO Standards for Hydrographic Surveys*. 5th Edition, February 2008. Special Publication No. 44. International Hydrographic Bureau, Monaco.
13. *Pravila gidrograficheskoi sluzhby № 4. S'emka rel'efa dna*. MO SSSR GUNiO, 1984. Chast' II. Trebovaniya i metody.
14. Drejper, N., and G. Smit. *Prikladnoj regressionnyj analiz*. Izdatelskij dom «Viljams», 2007.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Королев Иван Юрьевич** — аспирант  
*Научный руководитель:*  
 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: [i.korolev@fertoing.ru](mailto:i.korolev@fertoing.ru)

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Korolev, Ivan Ju.** — postgraduate  
*Supervisor:*  
 Tezиков Aleksandr L'vovich —  
 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: [i.korolev@fertoing.ru](mailto:i.korolev@fertoing.ru)

*Статья поступила в редакцию 16 января 2017 г.  
 Received: January 16, 2017.*