

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-55-62

FORMALIZATION OF THE CONSTRAINT INDICATOR OF THE NORTHERN SEA ROUTE WATER AREA

E. V. Andreeva, A. L. Tezikov

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

A formalized assessment of the constraint of the Northern Sea Route water area is developed in the paper. The connection of the research topic with the tasks of designing shipping routes in the waters of the Arctic seas, the choice of safe routes and the issues of ship management in narrows is established. The list of the main factors affecting the constraint of the Northern Sea Route includes shores, dangerous depths and isobaths, forbidden zones, areas with insufficient hydrographic knowledge of the bottom relief and dangerous ice formations. The formalization of the constraint index is carried out by methods developed in the theory of stochastic geometry. The concepts of geometric measure of water area constraint and indicator of water area constraint are introduced. The geometric measure of constraint is used as a characteristic of the water area and does not depend on the maneuverability properties of vessels. The constraint indicator takes into account the ratio of the water area properties and the maneuverability characteristics of vessels. It is proposed, along with the general indicators of the water area constraint, to use private indicators that allow separately taking into account the impact of potentially dangerous objects located on both sides of the projected route. The functional relationship of the geometric measure of the water area constraint with the distance to dangerous objects, with their geometric shape and size is established. The conditions under which the distance to dangerous objects can be used as a measure of constraint are formulated. The results of a comparative assessment of the water area constraint of the Vilkitsky Strait using generalized and partial indicators are presented. A comparative quantitative assessment of the constraint of three navigable zones of the strait is carried out. The regularities of changes in quantitative indicators of individual shipping routes and points on the route are investigated. Recommendations on the developed method use are given. The direction of further research has been determined.

Keywords: Northern Sea Route, shipping routes, measure of constraint, Vilkitsky Strait, stochastic geometry.

For citation:

Andreeva, Ekaterina V., and Aleksandr L. Tezikov. "Formalization of the constraint indicator of the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-55-62.

УДК 528.47

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕСНЕННОСТИ АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков

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

Исследование посвящено разработке formalизованной оценки стесненности акватории Северного морского пути. Установлена связь темы исследования с задачами проектирования судоходных маршрутов в акватории арктических морей, выбором безопасных маршрутов и вопросами управления судна в узостях. К перечню основных факторов, оказывающих влияние на стесненность акватории Северного морского пути, относятся берега, опасные глубины и изобаты, запретные зоны, области с недостаточной гидрографической изученностью рельефа дна и опасные ледовые образования. Formalизация показателя стесненности выполнена методами, разработанными в теории стохастической геометрии. Введены понятия «геометрической меры стесненности акватории» и «показателя стесненности акватории». Отмечается, что геометрическая мера стесненности используется в качестве характеристики акватории и не зависит от маневренных свойств судов. Показатель стесненности учитывает соотношение свойств акватории и маневренных характеристик судов. Предложено наряду с общими показателями стесненности акватории использовать

частные показатели, позволяющие отдельно учитывать влияние потенциально опасных объектов, расположенных по обеим сторонам от проектируемого маршрута. Установлена функциональная связь геометрической меры стесненности акватории с расстоянием до опасных объектов, их геометрической формой и размерами. Сформулированы условия, при которых расстояние до опасных объектов может использоваться в качестве меры стесненности. Приведены результаты сравнительной оценки стесненности акватории пролива Вилькицкого с использованием обобщенных и частных показателей. Выполнена сравнительная количественная оценка стесненности трех судоходных зон пролива. Исследованы закономерности изменения количественных показателей отдельных судоходных маршрутов и точек на маршруте. Даны рекомендации по использованию разработанного метода. Определено направление дальнейших исследований.

Ключевые слова: Северный морской путь, судоходные маршруты, мера стесненности, пролив Вилькицкого, стохастическая геометрия.

Для цитирования:

Андреева Е. В. Формализация показателя стесненности акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева, А. Л. Тезиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-55-62.

Введение (Introduction)

Тема проведенного исследования связана с выбором безопасных маршрутов плавания судов в арктических водах [1], [2]. В процессе решения этой задачи отдельно рассматриваются соотношение осадки судов с глубинами на маршруте, гидографическая изученность рельефа дна в зоне маршрута, соотношение ледовой проходимости судов с толщиной ледового поля, а также ширины полосы движения судна с шириной зоны безопасного маневрирования акватории. Последний из указанных факторов характеризует стесненность акватории.

К районам со стесненными условиями обычно относятся участки акватории, на которых суда ограничены в возможности маневрирования из-за близости берегов и других навигационных опасностей [3]. Считается, что для морских судов такие ограничения действуют на расстояниях менее 3–5 миль от навигационных опасностей. По этой причине расстояние до навигационных опасностей используется в качестве основного количественного показателя. В работе [4] показано, что расстояние до препятствия может использоваться как частная характеристика навигационной безопасности судоходных маршрутов. Расстояние до препятствия не учитывает протяженность препятствия и его форму. Понятие «стесненная акватория» обычно используется по отношению к условиям плавания судов в узостях и на мелководье без учета ледовых условий.

Результаты гидрографических и гидрометеорологических исследований морей Арктики, а также опыт полярного судоходства свидетельствуют о том, что акватория Северного морского пути (СМП) изобилует подводными навигационными опасностями в виде отмелей, банок, подводных камней и скал [5]. Кроме того, большую часть года она покрыта льдами, среди которых особую навигационную опасность представляют толстые многолетние льды, айсберги, стамухи, торосы и зоны ледового сжатия [6], [7]. К факторам, ограничивающим возможность маневрирования судов в акватории СМП, также относятся запретные зоны, зоны безопасности и границы акваторий с недостаточной гидрографической изученностью. Наличие большого количества навигационных опасностей создает особо тяжелые условия судоходства, которые могут быть определены как крайне стесненные.

В этой связи формализация показателя стесненности судоходных маршрутов акватории СМП представляется актуальной. Формализация показателя стесненности предполагает разработку методики количественной оценки влияния на навигационные характеристики судоходных маршрутов множества разнородных препятствий с учетом их размеров и формы при решении задач трех уровней:

- 1-й уровень — тактика плавания судов;
- 2-й уровень — выбор оптимальных маршрутов;
- 3-й уровень — проектирование маршрутов.

К наиболее разработанному направлению относятся задачи первого уровня, составляющие основу практики управления морским судном [3]. При решении задач обеспечения безопасного дви-

жения в узкостях и задач расхождения судов в качестве критерия используется отношение размеров акватории к диаметру циркуляции судна. В соответствии с этим критерием акватория считается стесненной, если ее размеры не превышают диаметр циркуляции данного судна. Направление второго и третьего уровней получили особенно активное развитие в последние десятилетия, на современном этапе развития судоходства в акватории СМП. В работах [8], [9] предложен метод формализации, основанный на принципах теории геометрических вероятностей [10]. Данный метод предназначен для использования при проектировании сети судоходных маршрутов.

Целью настоящей работы является использование метода оценки стесненности, основанного на принципах теории стохастической геометрии [11], при выборе оптимальных маршрутов в акватории СМП.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В теории геометрических вероятностей вероятность наступления некоторого события определяется отношением геометрической меры, выражающей количество благоприятных исходов, к геометрической мере, выражающей общее число всех возможных исходов данного события. В качестве геометрической меры используются длины, площади и объемы.

В качестве базовой задачи при оценке стесненности акватории используется задача стохастической геометрии [11] определения меры множества прямых линий, проходящих между двумя выпуклыми областями K_1 и K_2 . Для определения геометрической меры множества прямых линий необходимо найти разность между периметром скрещивающегося в точке O контура и периметров областей K_1 и K_2 , показанных на рис. 1.

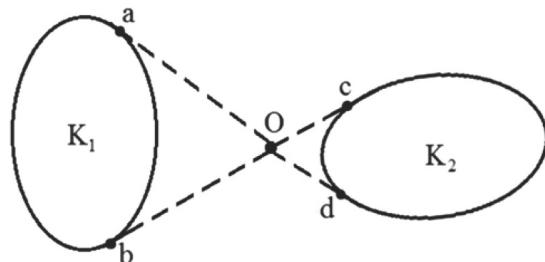


Рис. 1. Схема построения вспомогательных контуров относительно областей K_1 и K_2

На рис. 1 буквами a , b , c и d отмечены точки слияния контуров. С учетом равенства длин контуров в сливающихся зонах искомая мера определяется соотношением

$$M(K_1, K_2) = ad + cb - ab - cd, \quad (1)$$

где ad и cb — длины отрезков скрещивающегося контура; ab и cd — длины отрезков внутренней части контуров областей K_1 и K_2 .

В случае, когда область K_2 стягивается в точку c (рис. 2, а), отрезок $cd \rightarrow 0$, можно выражение (1) преобразовать к виду

$$M(K_1, K_2 \rightarrow c) = ad + cb - ab. \quad (2)$$

В случае, когда каждая из областей K_1 и K_2 стягивается в точки a и c (рис. 2, б), соответственно, выражения (1) и (2) преобразуются к виду

$$M(K_1 \rightarrow a, K_2 \rightarrow c) = 2ac = 2D_0, \quad (3)$$

где D_0 — расстояние между точками a и c .

Из выражения (3) следует, что расстояние между объектами K_1 и K_2 может использоваться в качестве геометрической меры множества прямых линий, проходящих между двумя выпуклыми областями K_1 и K_2 при условии, что их форма и размеры не учитываются.

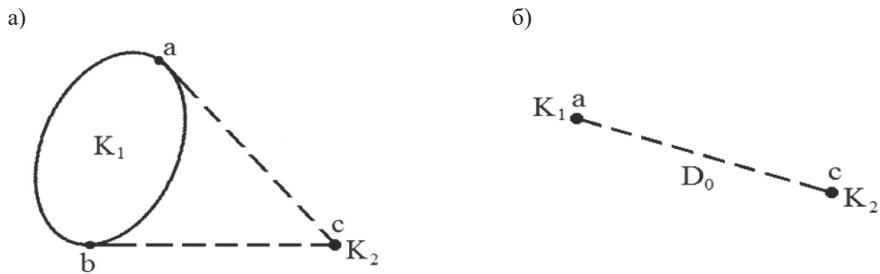


Рис. 2. Схемы вспомогательных контуров:

а — область K_2 вырождается в точку c ;
 б — области K_1 и K_2 вырождаются в точки a и c

В выражениях (1)–(3) под множеством прямых линий понимаются линии, проходящие между объектами K_1 и K_2 в двух направлениях. С учетом этого мера стесненности области $M(K_1, K_2)$, расположенной между K_1 и K_2 , устанавливается соотношением

$$M_{st}(K_1, K_2) = 0,5M(K_1, K_2). \quad (4)$$

Переход от геометрической абстракции к навигационно-гидрографическому описанию объектов выполняется методом аналогий [12]:

- под множеством прямых линий, проходящих между объектами K_1 и K_2 , понимается множество возможных траекторий движения судов;
- под объектами K_1 и K_2 могут пониматься любые препятствия, ограничивающие способность судов маневрировать, в том числе опасные глубины, изобаты, ледовые образования, встречные суда, запретные для плавания зоны, морские платформы и др.

Выражение (1) позволяет получить оценку стесненности акватории одним числом без привязки к конкретным маршрутам судов, как показано в работах [8], [9]. Выражение (1) предназначено для выполнения сравнительной оценки отдельных проливов.

Мера стесненности M_{st} представляет собой характеристику акватории. Очевидно, что для судов разных типов и размерений степень стесненности акватории будет отличаться. На этом основании вводится показатель стесненности S_t , учитывающий маневренные характеристики конкретного судна. Показатель стесненности задается выражением

$$S_t = \frac{B_m}{M_{st}}, \quad (5)$$

где B_m — ширина полосы безопасного маневрирования заданного судна [13].

Показатель стесненности представляет собой безразмерную величину, тогда как мера стесненности выражается в линейных единицах.

Зависимости (2) и (5) могут использоваться для вычисления меры и показателя стесненности маршрута, обусловленной препятствиями, расположенными слева и справа от маршрута:

M_{st}^l, B_m^l, S_t^l — характеристики, относящиеся к левой стороне;

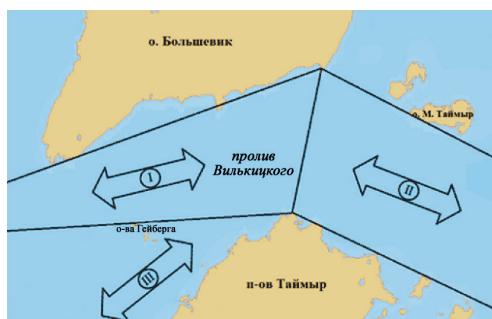
$M_{st}^{np}, B_m^{np}, S_t^{np}$ — характеристики, относящиеся к правой стороне;

D^l и D^{np} — минимальные расстояния от точки маршрута до препятствий, расположенных с левой и правой стороны от него. Выбор стороны определяется по направлению движения по маршрутам с запада на восток и с севера на юг.

Приведем результаты оценки стесненности прол. Вилькицкого, соединяющего Карское море и море Лаптевых. Длина пролива составляет около 70 миль, ширина в самом узком месте — 30,2 мили. К основным навигационным препятствиям относятся берег острова Большевик, северный берег п-ва Таймыр, а также о-ва Малый Таймыр, Комсомольской правды на востоке и четыре небольших о-ва Гейберга на западе, а также айсберги [14], обломки которых часто дрейфуют с востока на запад вдоль южного берега о-ва Большевик. Влияние айсбергов на стесненность при расчетах не учитывалось.

Схема прол. Вилькицкого приведена на рис. 3, а.

а)



б)

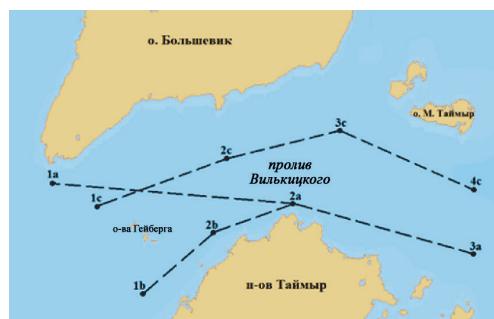


Рис. 3. Судоходные зоны (а) и судоходные маршруты (б) прол. Вилькицкого

На рис. 3, а стрелками выделены три судоходные зоны: I — западная; II — восточная; III — южная. На рис. 3, б показаны три фрагмента судоходных маршрутов *a*, *b* и *c*, проходящие через точки, для которых оценивалась стесненность.

Результаты (Results)

В табл. 1 приведены количественные характеристики стесненности трех судоходных зон, показанных на рис. 3, а.

Таблица 1

Стесненность судоходных зон

Номер зоны	Мера стесненности M_{st} , мили	Ширина зоны, мили
I	5,5	От 22 до 35
II	8,5	От 35 до 38
III	3,2	13

Стесненность акватории тем больше, чем меньше мера ее стесненности. На этом основании стесненность зоны III превышает стесненность зоны I в 1,7 раза, а зоны II — в 2,7 раза. Зоны I и II имеют форму четырехугольников с разными длинами противоположных сторон, поэтому ширина этих зон характеризуется ее граничными значениями. Зона III имеет форму прямоугольного четырехугольника, ширина которого определяется одним числом. Отношение ширины зон к значениям их мер стесненности находится в диапазоне от четырех до шести.

В табл. 2 указаны количественные показатели стесненности маршрутов *a*, *b* и *c*, приведенных на рис. 3, б.

Таблица 2

Стесненность судоходных маршрутов

Точка маршрута	Мера стесненности маршрута, мили		Минимальное расстояние до берега, мили	
	M_{st}^{np}	M_{st}^l	D^{np}	D^l
Маршрут <i>a</i>				
1a	16,0	2,0	18,4	6,0
2a	1,5	13,2	5,4	25,4
3a	2,7	15,1	7,4	31,6
Маршрут <i>b</i>				
1b	6,2	10,3	7,8	10,6
2b	2,9	14,6	6,8	15,0
Маршрут <i>c</i>				
1c	10,2	3,0	11,5	11,5
2c	11,6	7,7	18,8	12,6
3c	8,1	5,1	28,7	12,1
4c	8,6	16,7	27,8	19,6

Полученные в табл. 2 данные показывают, что количественное значение меры стесненности на каждом из маршрутов меняется в широких пределах: для маршрута a — от 1,5 до 16,0 миль; для маршрута b — от 2,9 до 14,6 миль; для маршрута c — от 3,0 до 16,7 миль.

Показатели стесненности точек маршрута зависят от удаленности маршрута от берега. Существенные различия в численных значениях показателей меры стесненности связаны с разной удаленностью берегов, расположенных по обеим сторонам маршрута. Сравнение численных значений показателей меры стесненности и минимальных расстояний до берега показывают, что расстояния по величине всегда превышают показатель меры.

Обсуждение (Discussion)

Применение методов стохастической геометрии для оценки навигационных свойств акватории позволяет более полно и детально учесть влияние опасных объектов на возможность судов маневрировать в данной акватории. Использование в качестве меры стесненности акватории множества прямых линий, выраженное в длинах отрезков, которые эти линии могут пересекать, обосновано тем, что маршруты морских судов на большей части также имеют вид прямых линий. Кроме того, такая мера позволяет производить взаимное сравнение отдельных участков акваторий по показателю стесненности, используя одно число, характеризующее не только расстояния между препятствиями, но также их форму и размеры. Вместе с тем предлагаемый подход требует дополнительных средств наблюдения и измерения параметров контуров объектов, влияющих на стесненность акватории, в том числе движущихся объектов, которые оказывают стохастическое влияние на данные показатели. По этой причине использование предложенного метода формализованной оценки стесненности акватории целесообразно использовать при решении многокритериальных задач выбора оптимальных маршрутов [1], [2]. В таких задачах критерий стесненности используется наряду с критериями, связанными с проходными глубинами, гидрографической изученностью рельефа дна, ледовой проходимостью судов и временем их перехода между точками отправления и прихода [15], [16].

Приведенная в работе оценка стесненности прол. Вилькицкого выполнена без учета влияния опасных ледовых образований. Наличие тяжелых льдов в проливе в отдельные годы приводит к его полной блокаде. Влияние неподвижных айсбергов, запретных зон и других стационарных объектов на стесненность акватории может быть учтено с использованием предложенной методики. Для учета влияния подвижных объектов требуется проведение дополнительных исследований.

Заключение (Conclusion)

В статье приведены результаты формализации показателей стесненности, основанные на методах стохастической геометрии. Исследование является продолжением работ по математическому обоснованию навигационно-гидрографического обеспечения судоходства в акватории арктических морей, осуществляемых на Арктическом факультете ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова». Впервые выполнена систематизация параметров стесненности, включающая обобщенные показатели акватории и ее частей, а также показатели маршрутов, их отдельных частей и точек.

Сформулированы условия и ограничения использования расстояний в качестве меры стесненности судоходных маршрутов. Приведены основные формулы и соотношения показателей стесненности. Сравнительная оценка показателей стесненности, полученных традиционными методами и методами стохастической геометрии, проиллюстрирована на примере прол. Вилькицкого. В дальнейшем планируется выполнить комплексную навигационно-гидрографическую оценку основных судоходных маршрутов акватории СМП по критериям навигационной безопасности, включающих критерии стесненности акватории, проходных глубин и ледовой проходимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Е. В. Многокритериальный подход в задаче выбора оптимальных маршрутов в акватории Северного морского пути / Е. В. Андреева // Вестник Государственного университета морского и речного

флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 399–408. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.

2. Акмайкин Д. А. Эвристический поиск оптимального маршрута судна по северному морскому пути / Д. А. Акмайкин, С. Ф. Клюсева, П. А. Салюк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 5 (33). — С. 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-55-62.

3. Снопков В. И. Управление судном / В. И. Снопков. — СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. — 536 с.

4. 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.

5. 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.

6. Павлова Е. А. Особенности распределения айсбергов по данным судовых наблюдений в Карском море в 2004–2019 гг. / Е. А. Павлова [и др.] // Российская Арктика. — 2020. — № 10. — С. 30–36.

7. Горбунов Ю. А. Стамухи моря Лаптевых / Ю. А. Горбунов, С. М. Лосев, Л. Н. Дымент // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2008. — № 2 (79). — С. 111–116.

8. Клюев В. В. Количественная оценка показателя стесненности акватории Северного морского пути / В. В. Клюев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 109–117. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117.

9. Tezikov A. Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR) / A. Tezikov, A. Afonin, V. Kljuev // Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. — Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), 2017.

10. Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности / Л. Сантало. — М.: Наука, 1983. — 358 с.

11. Амбарцумян Р. В. Введение в стохастическую геометрию / Р. В. Амбарцумян, Й. Мекке, Д. Штойян. — М.: Наука, 1989. — 400 с.

12. Костюченко Р. Ю. Аналогия в науке и обучении / Р. Ю. Костюченко // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. — 2017. — № 4 (24). — С. 136–142.

13. Ершов А. А. Использование характеристик маневрирования для обеспечения безопасности движения судов в узостях / А. А. Ершов, А. В. Михневич // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

14. Александров А. В. Анализ айсберговой опасности на Северном морском пути на примере газовозов / А. В. Александров [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 2 (26). — С. 76–81. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-76-81.

15. Afonin A. Conventional and Deep-Water Shipping Passages Along the Northern Sea Route / A. Afonin, E. Olkhovik, A. Tezikov // 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.

16. Андреева Е. В. Перспективы развития СМП / Е. В. Андреева, К. Я. Исаулова // Деловой журнал Neftegaz.RU. — 2021. — № 6 (114). — С. 30–37.

REFERENCES

1. Andreeva, Ekaterina V. “Multi-criteria approach to the problem of choosing the optimal routes in the waters of the Northern Sea Route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 399–408. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-399-408.
2. Akmaykin, Denis Aleksandrovich, Svetlana Fedorovna Klyueva, and Pavel Anatolievich Salyuk. “Heuristic search for the optimal route ship Northern Sea Route.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(33) (2015): 55–62. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-55-62.
3. Snopkov, V. I. *Upravlenie sudnom*. SPb: ANO NPO «Professional», 2004.
4. 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.

5. Afonin, Andrey 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.

6. Pavlova, E. A., T. A. Alekseeva, E. Y. Mironov, and V. Mf. Smolyanitsky. "Specific features of iceberg distribution according to shipborne observations in the Kara sea in 2004–2019." *Russian Arctic* 10 (2020): 30–36.

7. Gorbunov, Yu. A., S. M. Losev, and L. N. Dymant. "Stamukhi morya Laptevykh." *Problemy Arktiki i Antarktiki* 2(79) (2008): 111–116.

8. Kljuev, Vitaly Vladimirovich. "Quantitative assessment of constraint of the Northern sea route." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 109–117. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-109-117.

9. Tezikov, Aleksandr, Andrey Afonin, and Vitaly Kljuev. "Research of quantitative indicators of tightness of the northern sea route (NSR)." *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC)*, 2017.

10. Santalo, Luis A. *Integral geometry and geometric probability*. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2004.

11. Ambartsumyan, R. V., I. Mekke, and D. Shtoian. *Vvedenie v stokhasticheskuyu geometriyu*. M.: Nauka, 1989.

12. Kostyuchenko, Roman Yu. "Analogy in science and education." *Herald of Siberian Institute of Business and Information Technologies* 4(24) (2017): 136–142.

13. Ershov, Andrey A., and Andrey V. Mikhnevich. "The use of characteristics of maneuvering to ensure the safety of vessel traffic in the narrows." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 897–910. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-897-910.

14. Aleksandrov, Anatolii Vladimirovich, Olga Donatovna Ivanovskaya, Roman Andreevich Matantsev, and Valerii Mikhaylovich Shaposhnikov. "Iceberg risk analysis for the northern sea route: LNG carrier study case." *Arctic: ecology and economics* 2(26) (2017): 76–81. DOI: 10.25283/2223-4594-2017-2-76-81.

15. Afonin, Andrey, Evgeniy Olkhovik, and Alexander Tezikov. "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.

16. Andreeva, E. V., and K. Ya. Isaulova. "Perspektivy razvitiya SMP." *Delovoi zhurnal Neftegaz.RU* 6(114) (2021): 30–37.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреева Екатерина Валерьевна — ассистент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

е-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

е-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

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