

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-309-318

EDN AGRYUC

ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE DYNAMICS OF SEDIMENTATION OF SHIPPING CHANNELS IN THE WATERS OF THE NORTHERN SEA ROUTE

E. V. Andreeva, A. B. Afonin, A. L. Tezikov

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

The assessment and forecasting of the dynamics of sedimentation in shipping channels is a crucial aspect of ensuring year-round navigation for large-tonnage vessels in the waters of the Northern Sea Route, as the Arctic seas and the straits connecting them — especially in the eastern sector — are shallow and require dredging to maintain guaranteed safe depths. This paper describes a developed method for assessing and forecasting the dynamics of sedimentation in shipping channels within the waters of the Northern Sea Route. The main features of dredging conditions in the Arctic seas are highlighted, including the presence of ice for 8–9 months each year, during which dredging is impossible, and a short (3–4 month) period of open water when dredging becomes feasible, while transport vessels and icebreakers navigate the channels year-round. In addition to traditional factors influencing sedimentation processes in sea channels, such as wind-wave phenomena and currents, the propellers of large-tonnage transport vessels and powerful icebreakers also exert a significant impact. This is due to the considerable draft of vessels and the shallow depths of the channels. The theoretical basis of the sedimentation model is presented, which is based on experimental data obtained from bottom relief surveys using multibeam echo sounders. The stages of processing field data for their preparation and application in the mathematical model of sedimentation are detailed. The results of forecasting the calculated sedimentation volumes and their corresponding confidence intervals are provided.

Keywords: Northern Sea Route, sedimentation, erosion, large-tonnage vessels, modeling, maritime transport, dredging.

For citation:

Andreeva, Ekaterina V., A. B. Afonin, and A. L. Tezikov “Assessment and forecasting of the dynamics of sedimentation of shipping channels in the waters of the northern sea route”. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 17.3 (2025): 309–318. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-309-318.

УДК 528.47

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЗАНОСИМОСТИ СУДОХОДНЫХ КАНАЛОВ В АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Е. В. Андреева, А. Б. Афонин, А. Л. Тезиков

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

Темой исследования является оценка и прогнозирование динамики заносимости судоходных каналов — важная составляющая обеспечения круглогодичной навигации крупнотоннажных судов в акватории Северного морского пути, поскольку арктические моря и соединяющие их проливы, особенно в восточном секторе, мелководны, что требует выполнения дноуглубительных работ для поддержания гарантированных безопасных глубин. Статья посвящена описанию разработанного метода оценки и прогнозирования динамики заносимости судоходных каналов в акватории Северного морского пути. Рассмотрены основные особенности условий выполнения дноуглубительных работ в арктических морях, к которым относятся наличие льда в течение 8–9 месяцев в году, когда проведение дноуглубительных работ является невозможным, короткий (3–4 месяца) период чистой воды, когда выполнение дноуглубительных работ становится

возможным, при этом плавание транспортных судов и ледоколов по каналам осуществляется круглый год. Отмечается, что наряду с традиционными факторами, влияющими на процессы заносимости морских каналов, такими как ветро-волновые явления и течения, существенное влияние оказывают движители крупнотоннажных транспортных судов и мощных ледоколов ввиду значительной осадки судов и мелководья каналов. Приведено теоретическое обоснование модели заносимости на основе экспериментальных данных, полученных по результатам съемки рельефа дна с применением многолучевых эхолотов. Детально показаны этапы обработки натурных данных для их подготовки и применения в математической модели заносимости. Приведены результаты прогноза расчетных величин объемов заносимости и соответствующие им доверительные интервалы.

Ключевые слова: Северный морской путь, заносимость, эрозия, крупнотоннажные суда, моделирование, морские перевозки, дноуглубительные работы.

Для цитирования:

Андреева Е. В. Оценка и прогнозирование динамики заносимости судоходных каналов 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. — 2025. — Т. 17. — № 3. — С. 309–318. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-3-309-318. — EDN AGRYUC.

Введение (Introduction)

Комплексное развитие Северного морского пути (СМП) предусматривает значительное увеличение объемов перевозок минерального сырья крупнотоннажными судами, строительство новых и реконструкцию действующих портов, что позволит превратить СМП в круглогодично действующую транспортную магистраль¹. В качестве примера в таблице приведены характеристики СПГ-танкера «Кристоф де Маржери», который обслуживает проект «Ямал СПГ»².

Характеристики СПГ-танкера «Кристоф де Маржери»

Характеристика	Значение
Ледовый класс	Arc 7
Длина, м	299,0
Ширина, м	50,13
Высота по борту, м	26,5
Осадка, м	13,0
Валовая вместимость, т	128 806
Вместимость, м ³	172 500
Скорость по открытой воде (носом вперед), уз	19,5
Ледопроходимость при движении носом вперед, м	1,5
Ледопроходимость при движении кормой вперед, м	2,5
Диаметр винтов, м	6,0

К основным сдерживающим факторам реализации круглогодичной навигации относятся тяжелые природные условия, ограничивающие сроки навигации и обширные по площади мелководья [1]. Проведение дноуглубительных работ в акватории СМП представляет собой уникальную операцию. Уникальность дноуглубительных работ в акватории СМП определяется условиями их проведения, поскольку имеющийся в настоящее время опыт выполнения дноуглубления относится к акваториям незамерзающих морей и рек. При отсутствии льда предполагается, что основной причиной заносимости служат ветро-волновые и штормовые явления [2], [3]. В арктических районах акватория покрыта льдом в течение 8–9 месяцев в году. Очевидно, что в этот период влияние ветро-волновых и штормовых явлений ослаблено по сравнению с ветро-волновыми и штормовыми явлениями при отсутствии льда.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 01 августа 2022 г. № 2115-р «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 г.».

² Уникальный ледокольный танкер-газовоз «Кристоф де Маржери» www.sovcomflot.ru (дата обращения 02.04.1025).

Для расчета объемов наносов, в зависимости стадии жизненного цикла объектов, используются различные методики. На стадии проектирования гидротехнических объектов применяются методики, основанные на моделировании гидрометеорологических характеристик района нахождения объекта: атмосферного воздействия, ветрового волнения, течений, объемных величин потоков илистых отложений в толще воды [4].

Используемые на практике методики прогнозирования объемов донных отложений и транспорта взвешенных наносов включают численное моделирование и расчеты параметров как литодинамических процессов, так и транспорта донных наносов, основанных на энергетической концепции Р. Бэнгольда [5], которые подробно изложены в работе [6].

В арктических каналах используются крупнотоннажные суда с мощными энергетическими установками, имеющие винты до 6 м в диаметре. Малый запас воды под килем приводит к тому, что основной причиной эрозии и наносов в канале является турбулентная струя судового движителя [7].

На стадии эксплуатации портов и каналов основными источниками информации для установления проходных глубин и объемов наносов служат материалы гидрографической съемки рельефа дна, которая проводится периодически [8]. Съемка рельефа дна выполняется многолучевым эхолотом при отсутствии льда.

В статье описывается методика оценки заносимости объектов и составления прогнозов объема заносимости, выполненных на основе материалов гидрографической съемки. Предлагаемая методика определения объемов выемки грунта основана на результатах предварительной и исполнительной гидрографических съемок³. Сопоставление данных съемок рельефа дна, выполненных в разные годы, позволяет определить объемы наносов, фактические размеры прорези, распределение наносов по длине и ширине прорези и объем выполненных дноуглубительных работ. Полученные данные в дальнейшем используются для составления прогноза заносимости.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Исходными данными для оценки и прогноза заносимости служат отчетные материалы результатов гидрографических исследований, которые содержат результаты предварительной и исполнительной съемок. Помимо этого, необходимо иметь паспорта объектов, отчеты о выполненных исследованиях и проектную документацию объектов. Для каждой съемки предполагается наличие технических отчетов с описаниями организации и производства работ, результатами уро-
венных наблюдений в районе производства работ, результатами измерений скорости звука в воде, описанием используемых технических средств и т. п. Качество съемки рельефа дна должно соответствовать требованиям технических заданий.

Отчетные материалы съемки рельефа дна представляют в системе координат WGS-84, проекция UTM (м), в виде текстовых файлов в формате X, Y, Z. Планшеты целесообразно формировать в двух видах: планшеты с глубинами, сортированными по минимальным значениям (в целях навигации), и планшеты с глубинами, сортированными по средним значениям (в целях подсчета объема дноуглубительных работ). Отчетные материалы переводятся в цифровой формат.

По объектам выполнялось построение TIN-сеток съемки рельефа дна, которые использовались для подсчета объемов заносимости.

Полученные цифровые модели предназначены для решения следующих задач:

- построение поперечных, продольных профилей;
- вычитание одной цифровой модели из другой с представлением результатов в виде разности глубин с геопривязкой;
- подсчет объемов относительно заданного уровня;
- разделение зон наносов и эрозии от заданного уровня;
- визуализация результатов по заданной пользователем шкале.

³ РД 31.74.04–2002. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним: инструкция. Ростов н/Д, 2004.

Предварительная обработка материалов для каждого объекта и по каждому году включала:

- определение границ съемки объекта;
- определение границ объекта по нижней бровке;
- разбивка площади объекта по пикетам;
- разбивка площади объекта по планшетам;
- определение параметров заносимости объектов.

На рис. 1 представлена схема разбивки объекта по пикетам и планшетам.

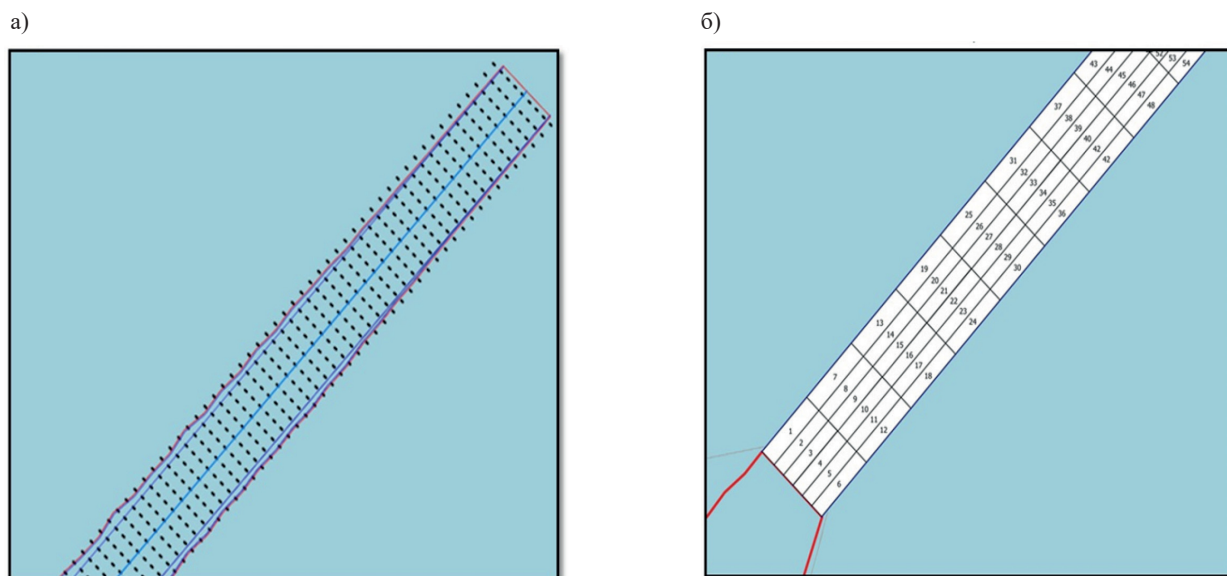


Рис. 1. Разбивка объекта на расчетные области:
а — поперечный пикетаж; б — планшеты

Для каждого года съемки применительно к конкретному объекту использовалась одинаковая схема разбивки объекта на пикеты и планшеты.

По каждому пикету строились профили рельефа дна. Профиль позволял определить положение поверхности рельефа дна относительно его проектной отметки. Сравнение профилей, относящихся к разным годам, использовалось для определения зон заносимости и зон размыва (эрозии) дна. На рис. 2 приведена схема сравнения профилей, относящихся к разным годам, с выделенными зонами заносимости и эрозии. Зоны заносимости и эрозии определялись по разностям глубин между глубинами предварительной съемки текущего года и глубинами исполнительной съемки предыдущего года.

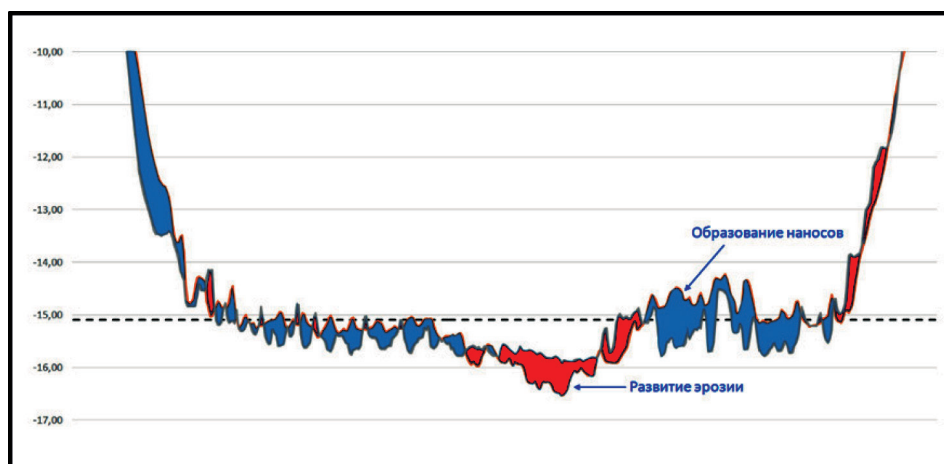


Рис. 2. Схема сравнения профилей, относящихся к разным годам, с выделенными зонами заносимости и эрозии

На рис. 2 пунктирной линией показана проектная отметка дна. Красным цветом обозначены зоны эрозии, синим — зоны заносимости. Профили, построенные перпендикулярно профилям пикетов, использовались для оценки заносимости по этому направлению. Разбивка площади объекта по планшетам использовалась для сравнительной оценки параметров заносимости по площадям.

Каждый планшет пронумерован индексами i и j (i — номер планшета в поперечном направлении относительно оси канала; j — номер планшета в направлении оси канала). На рис. 3 показан пример разбивки объекта на планшеты.

1.1	2.1	3.1	4.1	5.1	6.1	
1.2	2.2	3.2	4.2	5.2	6.2	
1.3	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3	
1.4	2.4	3.4	4.4	5.4	6.4	
1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	
1.6	2.6	3.6	4.6	5.6	6.6	

Рис. 3. Схема нумерации планшетов

Для каждого планшета по материалам съемки для каждого года вычислялись:

- средняя толщина слоя наносов;
- объем наносов;
- средняя толщина слоя эрозии;
- объем эрозии.

Полученные данные используются для оценки заносимости по всей площади объекта, а также позволяют определить области повышенной заносимости и повышенной эрозии и области, находящиеся в равновесном состоянии.

Объем заносимости объекта по данным, представленным на регулярной решетке ($\Delta x = \text{const}$, $\Delta y = \text{const}$), соответствует разности объемов грунта, полученных на основе данных предварительной и исполнительной съемки, выполненных с интервалом в один год:

$$\Delta V(T, T-1) = V_{\text{пр}}(T) - V_{\text{исп}}(T-1). \quad (1)$$

Площадь съемки, охватывающей все элементарные прямоугольники со сторонами Δx и Δy , в вершинах которых измерены глубины, определяется по формуле

$$S(T) = S(T-1) = \Delta x \cdot \Delta y \left[N_1 + \left(\frac{N_2}{2} \right) - 1 \right], \quad (2)$$

где N_1 — количество отметок глубин, попадающих во внутреннюю область площади съемки;

N_2 — количество отметок глубин, расположенных на внешней границе выделенной площади.

Для определения средней толщины слоя заносимости выделенного участка используется выражение

$$h_{\text{ср}} = \frac{\Delta V(T, T-1)}{S(T)}. \quad (3)$$

Динамику заносимости характеризует ряд $\Delta V_j = \Delta V(T)$, где T — год съемки, значение которого меняется от T_{min} — года выполнения первой съемки рельефа дна, до T_{max} — года выполнения самой поздней съемки рельефа дна.

Средняя заносимость района определяется по формуле

$$\Delta \bar{V} = \frac{\sum_1^n \Delta V_j(T_j)}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} = \frac{\sum_1^n \Delta V_j}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}}, \quad (4)$$

где n — количество членов ряда.

Среднее квадратическое (стандартное) отклонение заносимости задается выражением

$$\sigma_V = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\Delta V_j - \overline{\Delta V})^2}{n-1}}. \quad (5)$$

Статистический ряд $\Delta V_j (j = 1, \dots, n)$ характеризует динамику заносимости канала.

На заносимость оказывают влияние следующие факторы:

- форма и размеры канала;
- периодичность выполнения дноуглубительных работ
- движение судов по каналу, том числе размерения судов, их скорость и направление движения;
- речной сток;
- ветро-волновые процессы;
- тип грунта.

На заносимость существенное влияние оказывают движители крупнотоннажных судов.

При движении судов по мелководным морским каналам происходит размыв грунта под воздействием струи воды от судовых гребных винтов в полосе эрозии шириной $b_э$ [7]. Грунт выносятся в зоны, непосредственно примыкающие справа и слева к полосе $b_э$. Зоны формируемых наносов имеют ширину $b_н = b_н^{прав} + b_н^{лев}$. Положение полос показано на рис. 4.

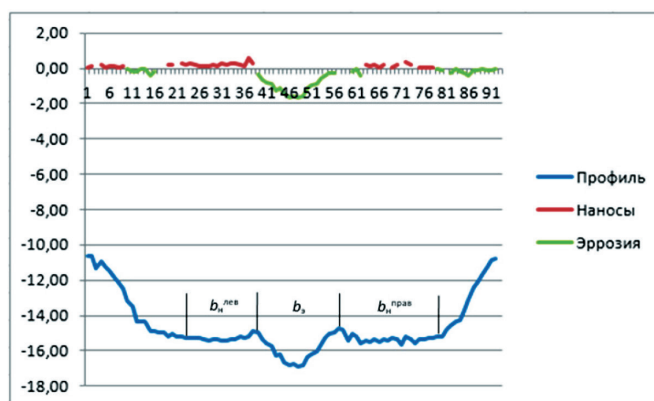


Рис. 4. Зоны формирования наносов под воздействием струи воды от гребного винта судна

Влияние одного судна на заносимость характеризуется показателем ρ , величина которого определяется соотношением

$$\rho = \frac{\Delta V_н(b_н)}{lN}, \quad (6)$$

где l — длина канала;

N — количество судов, прошедших по каналу за год.

Результаты (Results)

В качестве примера оценим влияние судов на заносимость подходного канала в Карском море на основе данных за 2020–2019 гг. и 2021–2020 гг.

1. Данные 2020–2019 гг.:

$$b_э = 75 \text{ м};$$

$$b_н^{прав} = b_н^{лев} = 62,5 \text{ м};$$

$$V_н(b_н) = 21523 \text{ м}^3;$$

$$N = 282;$$

$$l = 5,65 \text{ км}.$$

Результаты оценки: $\rho_{2020} = 13,51 \text{ м}^3/\text{км}$.

2. Данные 2021–2020 гг.:

$b_3 = 75 \text{ м}$;

$b_{\text{н}}^{\text{прав}} = b_{\text{н}}^{\text{лев}} = 62,5 \text{ м}$;

$V_{\text{н}}(b_{\text{н}}) = 14200 \text{ м}^3$;

$N = 277$;

$l = 5,65 \text{ км}$.

Результаты оценки: $\rho_{2021} = 9,15 \text{ м}^3/\text{км}$.

Принятое значение параметра ρ для одного судна, проходящего по подходному каналу:

$$\rho = \frac{\rho_{2020} + \rho_{2021}}{2} = \frac{13,51 + 9,15}{2} = 11,81 \text{ м}^3/\text{км}. \quad (7)$$

Прогноз заносимости выполняется на основе статистического ряда объемов наносов $\Delta V_j = \Delta V(T)$.

Статистический ряд приводится к однородному состоянию путем фильтрации. После этого определяются следующие характеристики отфильтрованного ряда:

$\bar{T}$ — год, соответствующий середине ряда наблюдений;

σ_V — среднее квадратическое отклонение заносимости;

ΔV_0 — объем наносов, соответствующий году $\bar{T}$;

$N(\bar{T})$ — количество судов, работавших в акватории в течение года $\bar{T}$;

ρ — показатель влияния судна на заносимость;

k — количество членов статистического ряда.

Кроме того, для вычисления прогноза заносимости используются следующие данные:

T — год, на который выполняется прогноз;

$N(T)$ — ожидаемое количество судов, которое будет работать в акватории в течение года T , на который составляется прогноз;

n — степень свободы, соответствующая числу членов статистического ряда, $n = k - 1$;

$t_{n,p}$ — коэффициент Стьюдента, соответствующий степени свободы n и вероятности p [9];

$p = 0,90$ — принятое значение вероятности;

l — протяженность канала, км.

Для вычисления прогнозируемой величины заносимости $\Delta V(T)$ с доверительным интервалом используется выражение [10], адаптированное к задачам дноуглубления морских каналов:

$$\Delta V(T) = \Delta V_0 + \rho N l \pm \sigma_V t_{n,p} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(T - \bar{T})^2}{\sum_1^k (T_i - \bar{T})^2}\right)}. \quad (8)$$

Итоговые оценки прогноза объемов заносимости задаются тремя показателями:

$\Delta V^{\text{cp}}(T)$ — среднее значение;

$\Delta V^{\text{в}}(T)$ — верхнее значение доверительного интервала;

$\Delta V^{\text{н}}(T)$ — нижнее значение доверительного интервала,

определяемыми по формулам:

$$\Delta V^{\text{cp}}(T) = \Delta V_0 + \rho N(T) l; \quad (9)$$

$$\Delta V^{\text{в}}(T) = \Delta V_0 + \rho N(T) l + \sigma_V t_{n,p} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(T - \bar{T})^2}{\sum_1^k (T_i - \bar{T})^2}\right)}; \quad (10)$$

$$\Delta V^{\text{н}}(T) = \Delta V_0 + \rho N(T) l - \sigma_V t_{n,p} \sqrt{\left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(T - \bar{T})^2}{\sum_1^k (T_i - \bar{T})^2}\right)}. \quad (11)$$

При отсутствии заносимости канала численные значения оценок верхней (10) и нижней (11) границ доверительного интервала совпадают со средним значением (9).

Обсуждение (Discussion)

Модель прогноза (9)–(11) построена по данным статистического ряда $\Delta V_j = \Delta V(T)$. По мере поступления новой информации о заносимости объекта исходный статистический ряд принимает вид: $\Delta V_{j+1} = \Delta V(T^*)$, где $T^* = T + \Delta T$.

Прогностическая модель должна быть приведена в соответствие с обновленным статистическим рядом. Обновление затрагивает следующие параметры: ΔV_0 , ρ , $N(T)$, σ_V , $t_{n,p}$, T и $\bar{T}$.

Обновление статистического ряда приводит к тому, что первое прогнозируемое значение заносимости предыдущего года заменяется на его значение, полученное экспериментальным путем. Это позволяет расширить объем исходного статистического ряда на одно значение, а также уточнить значение дисперсии величины заносимости, показатели доверительного интервала и прогнозируемой величины заносимости на заданный год.

Модель прогноза (9)–(11) учитывает влияние движителей транспортных судов и ледоколов на дно и откосы канала. Предлагаемая методика, основанная на натурных измерениях глубин, не требует специальных дополнительных исследований литодинамических процессов перемещения наносов и определения гранулометрического состава наносов, а также величин и направлений сил, влияющих на их кинематику.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Обоснована актуальность оценки и прогнозирования динамики заносимости судоходных каналов в акватории Северного морского пути.
2. Отмечены особенности образования наносов в судоходных каналах арктических морей, связанные с ледовитостью акватории и воздействием движителей крупнотоннажных транспортных судов и мощных арктических ледоколов на дно и откосы морских каналов.
3. Разработаны цифровые модели рельефа дна, построенные по данным гидрографической съемки с использованием многолучевых эхолотов.
4. Разработана вероятностная прогностическая модель накопления наносов в морских каналах, определены параметры модели и методика вычисления их значений по данным промерных работ.
5. После проведения дополнительных исследований предложенная методика может служить теоретической основой для использования в руководящих документах по проведению дноуглубительных работ в арктических морях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афонин А. Б.* Разработка методов оценки проходных глубин на трассах Северного морского пути в зависимости от подробности съёмки рельефа дна / А. Б. Афонин, Е. О. Ольховик, А. Л. Тезиков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 4(38). — С. 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68. — EDN WLUCQD.
2. *Кожухов И. В.* Системный подход к изучению потоков наносов в мелководной зоне морей для обеспечения нормального режима судоходства / И. В. Кожухов // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 3(61). — С. 30–34. — EDN MVSZNF.
3. *Иглин С. М.* Пространственно-временные особенности заносимости канала Мудьюгских башен в морском порту Архангельск / С. М. Иглин, В. Б. Коробов // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. — 2019. — № 2. — С. 48–58. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-2-48-58. — EDN AUUVNE.
4. *Логвина Е. А.* Оценка заносимости подходного и морского каналов к порту в поселке Сабетта полуострова Ямал / Е. А. Логвина, В. А. Гладыш, Н. В. Кубышкин [и др.] // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2012. — № 4(94). — С. 105–120. — EDN PMIVAN.

5. Ткачев А. А. Анализ мероприятий по борьбе с заносимостью Волго-Каспийского канала / А. А. Ткачев, К. И. Ключенко // Мелиорация и гидротехника. — 2022. — Т. 12. — № 4. — С. 333–348. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348. — EDN WDWFAg.

6. Дианский Н. А. Моделирование гидрометеорологических характеристик в Карском и Печорском морях и расчет наносов у западного побережья полуострова Ямал / Н. А. Дианский, И. М. Кабатченко, В. В. Фомин [и др.] // Научно-технический сборник Вести газовой науки. — 2015. — № 2(22). — С. 98–105. — EDN WJGPUR.

7. Лобачев М. П. Численное моделирование взаимодействия струи от винта с грунтом / М. П. Лобачев, А. В. Пустошный, К. Е. Сазонов, И. А. Чичерин // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. — 2008. — Т. 1. — № 1. — С. 88–98. — EDN KNPJED.

8. Пиляев С. И. Применимость различных теорий волнения для расчета гидробиотехнических сооружений в условиях относительного мелководья / С. И. Пиляев, Н. А. Губина // Вестник МГСУ. — 2014. — № 3. — С. 228–235. — EDN RYXTUB.

9. Селютин В. Д. Прогнозирование как способ осуществления прикладной направленности курса теории вероятностей и математической статистики / В. Д. Селютин, Е. В. Лебедева // Ученые записки Орловского государственного университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. — 2014. — № 1(57). — С. 393–399. — EDN STYVWZ.

10. Дармокрик Г. П. Статистические методы прогнозирования в экономике / Г. П. Дармокрик, А. Н. Куликов // Вестник научных конференций. — 2015. — № 1–3. — С. 40–44. — EDN UXWXMT.

REFERENCES

1. Afonin, A. B., E. O. Ol'khovik and A. L. Tezikov. "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 im. admirala S. O. Makarova* 4(38) (2016): 62–68. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-62-68.

2. Kozhukhov, I. V. "Systems approach to the study of flow of sediment in the shallow sea zone to ensure normal shipping." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(61) (2010): 30–34.

3. Iglin, S. M. and V. B. Korobov. "Spatial and temporal peculiarities of sedimentation in the chanal of the muddyug towers in the sea port arkhangel'sk." *Ecological Safety Of Coastal And Shelf Zones Of Sea* 2 (2019): 48–58. DOI: 10.22449/2413-5577-2019-2-48-58.

4. Logvina, E. A., V. A. Gladyshev, N. V. Kubyshkin, et al. "Otsenka zanosimosti podkhodnogo i morskogo kanalov k portu v poselke Sabetta poluostrova Yamal." *Arctic And Antarctic Research* 4(94) (2012): 105–120.

5. Tkachev, A. A. and K. I. Klyuchenko. "Analysis of measures to combat the volga-caspian canal sedimentation." *Land Reclamation And Hydraulic Engineering* 12.4 (2022): 333–348. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-333-348.

6. Dianskiy, N. A., I. M. Kabatchenko, V. V. Fomin, et al. "Modelirovanie gidrometeorologicheskikh kharakteristik v Karskom i Pechorskom moryakh i raschet nanosov u zapadnogo poberezh'ya poluostrova Yamal." *Nauchno-tehnicheskiiy sbornik Vesti gazovoy nauki* 2(22) (2015): 98–105.

7. Lobachev, M. P., A. V. Pustoshnyy, K. E. Sazonov and I. A. Chicherin. "Numerical simulation of propeller wake interactions with the bottom soil." *Fundamental And Applied Hydrophysics* 1.1 (2008): 88–98.

8. Pilyaev, S. I. and N. A. Gubina. "Applicability of various wave movement theories for calculating hydrobiotechnical constructions in the conditions of relative shoal." *Vestnik Mgsu* 3 (2014): 228–235.

9. Selyutin, V. D. and E. V. Lebedeva. "Forecasting as a means of application-oriented teaching of probability theory and mathematical statistics course." *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye i sotsial'nye nauki* 1(57) (2014): 393–399.

10. Darmokrik, G. P. and A. N. Kulikov. "Statisticheskie metody prognozirovaniya v ekonomike." *Vestnik nauchnykh konferentsiy* 1–3 (2015): 40–44.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Афонин Андрей Борисович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

98035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: andrey.afonin.gma@yandex.ru,
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

Afonin, Andrej B. —

PhD of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: andrey.afonin.gma@yandex.ru,
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 09 апреля 2025 г.

Received: Apr. 9, 2025.