

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СУДОХОДСТВА В АРКТИКЕ

Ж. В. Васильева, С. А. Дзапаров, М. В. Васёха

Мурманский арктический университет (Мурманск, Российская Федерация)

Для цитирования

Васильева Ж. В., Дзапаров С. А., Васёха М. В. Методология оценки выбросов парниковых газов от судоходства в Арктике // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 4. — С. 596—604. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-4-596-604.

Статья поступила в редакцию 14 августа 2024 г.

В последние годы в Арктической зоне России наблюдается значительное увеличение морехозяйственной деятельности. Активизация судоходства в арктических акваториях приводит к увеличению выбросов парниковых газов, для точной оценки объемов которых сегодня отсутствуют эффективные инструменты. В данном исследовании предлагается методология общей количественной оценки выбросов от судоходства на конкретной акватории, основанная на использовании AIS-данных спутниковых систем. С помощью предложенного подхода впервые проведены оценка и анализ структуры судоходного трафика как источника выбросов, установлены динамика и объемы эмиссии парниковых газов в конкретном районе арктической акватории.

Ключевые слова: оценка выбросов, акватория, парниковые газы, арктическое судоходство, AIS-данные.

Введение

В соответствии с «Планом развития Северного морского пути на период до 2035 года»¹ предполагается увеличение морских перевозок к 2030 г. до 150 млн т в год, чтократно превосходит объемы перевозок, выполненных в 2023 г.

В свою очередь, Международная морская организация (ИМО, англ. IMO — International Maritime Organization) предпринимает активные шаги по сокращению парниковых выбросов с судов. В 2003 г. была принята резолюция Ассамблеи А.963(23), которая предусматривала сокращение выбросов парниковых газов судами. Этот документ впервые ввел официальные меры контроля над выбросами парниковых газов. В 2011 г. ИМО приняла резолюцию МЕРС.203(62), которая считается первым нормативным актом, устанавливающим стандарты на выбросы CO₂ в глобальном секторе экономики. Эта резолюция также предусматривала внедрение обязательных технических мер (расчет индек-

са энергоэффективности конструкции судна, EEDI), эксплуатационных мер (разработка плана управления энергоэффективностью судна, SEEMP) и мер по техническому сотрудничеству в области энергоэффективности. В 2018 г. принята резолюция МЕРС.304(72), нацеленная на полное сокращение выбросов парниковых газов с судов до конца текущего столетия. А в июле 2023 г. состоялась 80-я сессия Комитета по защите морской среды (Marine Environment Protection Committee — MERC), на которой стратегия ИМО по сокращению выбросов парниковых газов с судов была пересмотрена, и теперь она предусматривает полное сокращение выбросов парниковых газов приблизительно к 2050 г.

В этой связи особое значение приобретают количественная оценка эмиссии парниковых газов в акваториях Циркумполярного региона и определение их влияния на хрупкую экосистему Арктики. Кроме того, федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов»² предполагает государственный учет выбросов парниковых газов, введение угле-

¹ Распоряжение Правительства РФ «Об утверждении плана развития Северного морского пути на период до 2035 года» от 1 августа 2022 г. № 2115-р. — URL: <http://static.government.ru/media/files/StA6ySKbBceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf>.

² Об ограничении выбросов парниковых газов. Федер. закон от 2 июля 2021 г. № 296 ФЗ // Собр. законодательства РФ. — 2021. — № 27. — С. 18169—18175.

родных единиц и квот. Для сопоставления вклада отдельных государств в общий парниковый эффект в Арктике требуется развитие объективных методов инвентаризации парниковых газов в условиях антропогенной нагрузки [1].

Целью настоящей работы является создание современной методологии для оценки выбросов парниковых газов от арктического судоходства. Для этого сформулированы следующие задачи: 1) разработать алгоритм использования AIS-данных для оценки эмиссии парниковых газов с судов в выбранной трансграничной арктической акватории; 2) применить разработанный алгоритм для определения эмиссии парниковых газов с учетом технических характеристик судна; 3) выполнить оценку и анализ суммарной эмиссии парниковых газов в выбранной арктической акватории.

За последние десятилетия было предложено множество методик оценки выбросов парниковых газов. В настоящее время для расчета выбросов с судов существуют два основных подхода, использующих разные методы или методологии: подход «снизу вверх» (bottom-up), основанный на фактических параметрах деятельности судов, и подход «сверху вниз» (top-down), основанный на учете глобальной деятельности судоходства [2].

Подход «сверху вниз» основан на данных о бункеровке или продаже топлива и соответствующих коэффициентах выбросов, связанных с этим топливом, выраженных в единицах загрязняющих веществ на единицу использованного топлива. Наборы данных о потреблении судового топлива обычно берутся из энергетических статистических отчетов международных энергетических организаций и компаний (например, из отчетности Международного энергетического агентства — МЭА). Реализация этого подхода сводилась к определению суммарного объема затраченного судами топлива, по которому далее с помощью коэффициентов формировались кадастры выбросов [3]. Неопределенность использования данного подхода связана с отсутствием и перекрестным учетом многих статистических данных о потреблении топлива судами. Результаты, полученные с помощью этого подхода, позже были признаны не вполне достоверными и привлекли внимание к проблеме оценки неопределенности при исчислениях [4]. Также при использовании этого подхода невозможно точно определить, какое количество парниковых газов выбросило индивидуальное судно в конкретной акватории.

Методы «снизу вверх» основаны на различных источниках данных, описывающих технические характеристики каждого судна, данных внешней среды (состояние моря, погода и пр.), а также данных автоматической идентификационной системы (англ. Automatic Identification System — AIS) [8; 19]. Методы «снизу вверх» не исключают использования данных о расходе топлива, сообщаемых операторами в отношении отдельных судов [5]. При этом методики оценки эмиссии парниковых газов на основе лишь

технико-эксплуатационных характеристик судов, таких как суммарная мощность двигателя, степень использования его мощности, времени работы двигателя, удельного расхода топлива (г/кВт·ч) [6], также не позволяют получить высокую точность результатов, так как они не учитывают скорость движения судна, которая значительно влияет на расход топлива.

С повсеместным внедрением AIS стало возможно получать данные по координатам судов, скорости их движения. АИС (AIS) — автоматическая идентификационная система, основанная на использовании транспондеров, передающих сигнал на спутник, служащая для идентификации судов, их размеров и курса. Согласно Конвенции SOLAS 74/88, AIS обязательна для судов валовой вместимостью свыше 300 м³, совершающих международные рейсы, судов валовой вместимостью 500 м³ и более, не совершающих международные рейсы, и всех пассажирских судов.

Основанный на AIS подход к составлению кадастров выбросов при судоходстве был впервые предложен в [7], где была представлена методология оценки выбросов при движении судов (STEAM).

В настоящее время многие исследователи предлагают использовать AIS-данные для количественной оценки работы двигателя, оценки мгновенных скоростей и времени в пути между точками передачи информации в море. Полученные данные позволяют рассчитать расход топлива и выбросы для каждого судна. Использование AIS-данных дает возможность более реалистично описать источники эмиссии, тем самым уменьшив неопределенность, связанную с деятельностью глобального судоходства [8].

Методики с использованием AIS сфокусированы на вычислении энергопотребления судна (используемой мощности) при заданной скорости и на последующей оценке эмиссии через коэффициенты выбросов на единицу потребляемой мощности. Для вычисления энергопотребления в виде используемой мощности судна используется два подхода. Первый базируется на нахождении зависимости текущей (мгновенной) мощности судна от его текущей (мгновенной) скорости. При использовании этого подхода основными неопределенностями являются изменчивость КПД двигателя от изменяющейся мощности, характеристики гребного винта (гребной винт фиксированного шага или винт с регулируемым углом наклона лопастей). Второй подход базируется на определении буксировочной мощности судна в зависимости от сопротивления воды при заданной скорости движения. Основными неопределенностями здесь являются: отсутствие значений коэффициента полноты подводной части каждого конкретного судна, наличие обрастания на корпусе и коэффициент шероховатости подводной поверхности.

Можно отметить основные неопределенности, характерные для обоих подходов: в открытых базах данных может отсутствовать информация о типе двигателя, значении его максимальной мощности, виде и удельном расходе используемого топли-

ва, наличии тралов, геофизических кос и о других технических характеристиках; также, как правило, отсутствуют данные о параметрах ветровой и волновой нагрузки, скорости течений и других данных состояния акватории.

Ввиду наличия большого числа неопределенностей до настоящего времени нет единого общепризнанного метода оценки выбросов парниковых газов с судов. Такая система может появиться лишь на основе подробной базы данных технико-эксплуатационных характеристик судов и климато-метеорологической обстановки акваторий. Любая методика, предлагающая расчеты с использованием AIS без учета неопределенностей, должна верифицироваться по объемам бункеровки либо по данным контрольно-измерительных приборов, установленных на судне.

За последнее десятилетие в научной литературе появилось большое количество публикаций по использованию AIS-данных для оценки выбросов парниковых газов. Их авторы в подавляющем большинстве либо не учитывают, либо маскируют указанные выше неопределенности (например, проводя исчисления со среднеарифметическими значениями показателей). Так, авторы [9] сообщают о создании приложения на основе обработки AIS-данных для мониторинга эмиссии парниковых газов в режиме реального времени с судов в Гибралтарском проливе. При этом в работе отсутствует информация о соотношении получаемых результатов с реальным расходом топлива и индивидуальными характеристиками судов. Авторы [10] предлагают метод сегментации AIS-траекторий судов для устранения некорректных географических и временных точек, а также методику поиска 13 технических параметров судна с использованием алгоритма случайного множества. Для повышения достоверности оценки выбросов парниковых газов судами авторы [11] предлагают отсутствующие технические характеристики судов заменять имеющимися в наличии характеристиками судов того же типа.

Однако, несмотря на имеющиеся неопределенности при подсчете эмиссии парниковых газов, этот подход считается в настоящее время одним из самых точных и активно применяется для глобальной оценки влияния судоходной деятельности в отношении выбросов парниковых газов. Так, китайские ученые представили оценку выбросов с судов на основе данных AIS за 2014 г. для более 160 тыс. судов, а также выбросов в крупнейших портах Тяньцзинь [12], Циндао [13], Шанхай [14], Бохайском заливе [15]. Авторы [16] на основе AIS-данных представили динамику выбросов от судов в Китае с 2004 по 2013 гг. и дали прогноз по объемам выбросов до 2040 г. В [17] на основе AIS-данных представлены результаты расчета выбросов загрязняющих веществ с судов в 30 портах США в 2021 г.

Результаты оценки эмиссии парниковых газов для арктических акваторий на основе AIS-данных в научной литературе не представлены.

Методика исследования и методология оценки выбросов парниковых газов

Для проведения исследования был выбран насыщенный по судоходной активности безледовый период с 27.09.2020 по 28.10.2020, который характеризуется активной морской транспортной деятельностью судов разных типов и назначений (транспортных, рыболовных и др.), также в это время осуществлялись транзитные перевозки по Северному морскому пути.

В исследовании рассмотрена трансграничная акватория Баренцева моря, в которую входят несколько крупных портов России и Норвегии, обслуживающих все типы судов. Восточная граница выбранной акватории проходит через выход из порта Мурманск, а южная граница пролегает от выхода из Кольского залива до реки Тана (Норвегия), включая порт Киркенес и более мелкие береговые комплексы на российском и норвежском побережьях. Северная часть акватории определена по границе начала зоны рыболовного промысла, чтобы отсечь движение рыболовных судов, осуществляющих работу с тралями. Ограниченная таким образом акватория является зоной движения судов из России и Норвегии в восточном и западном направлениях, в том числе в крупные порты Европы.

В качестве основного инструмента исследования были использованы спутниковые данные геoinформационного сервиса ExactAIS по морским перевозкам³.

Формирование базы AIS-данных для расчетов происходило в два этапа. На первом этапе для формирования базы данных AIS-треков был произведен отбор всех судов, которые проходили через исследуемую акваторию за выбранный промежуток времени. Два раза в день, утром и вечером, с помощью сервиса ExactAIS формировались списки кораблей, которые находились в исследуемой акватории или каким-либо образом пересекали ее. В результате был получен список из 299 судов.

На втором этапе были аккумулированы AIS-треки искомым судов в формате .csv, которые с помощью AIS-транспондеров, расположенных на судах, передаются на береговые серверы с помощью программы ExactEarth ShipView. Информация, заключенная в передаваемых файлах, позволяет помимо названия судна и его перемещения узнать следующие данные: MMSI (англ. Maritime Mobile Service Identity — номер идентификации судна в Глобальной морской системе связи), номер IMO (уникальный идентификатор судна в Международной морской организации), тип судна, длину, флаг, текущий пункт назначения, координаты и курс, навигационный статус, дату и время. По выделенным судам было получено около 900 тыс. навигационных сигналов, использованных для вычисления фактических параметров активности судна при прохождении каждой навигационной точки. Прой-

³ <https://www.iridium.com/company/exactearth-ltd/>.

денное расстояние между навигационными сигналами оценивалось путем фильтрации координат только в рамках выделенной акватории. Таким образом проводилась аккумуляция AIS-треков всех судов в обозначенной арктической акватории.

Для формирования методологии оценки эмиссии парниковых газов в данной работе использовался подход «bottom-up / снизу вверх», основанный на данных о фактической судоходной деятельности в акватории. Фактические параметры деятельности судов получали с помощью данных AIS-треков на основе далее представленных математических моделей. Технические характеристики судов (максимальная скорость и максимальная мощность главного двигателя, объемы бункеровки) были установлены с помощью открытых информационных баз, сайтов администраций морских портов, российских и иностранных судоходных и бункеровочных компаний ⁴.

Методология оценки эмиссии парниковых газов, предложенная в данной статье, базируется на зависимости средней мощности судна, которую оно развивает на промежутке между двумя AIS-сигналами от его средней скорости между этими сигналами [18]:

$$\frac{P_{AIS}}{P_{max}} = \left(\frac{\vartheta_{AIS}}{\vartheta_{max}} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где P_{AIS} — фактическая мощность, которую развивает главный двигатель, работая при средней скорости между двумя AIS-сигналами; ϑ_{AIS} — средняя скорость между двумя AIS-сигналами; P_{max} — максимальная паспортная мощность главного двигателя; ϑ_{max} — максимальная скорость, которую может развивать судно при P_{max} ; α — степенной множитель, определяющий характер зависимости скорости от мощности.

В данной работе при выполнении расчетов эмиссии парниковых газов с опорой на исследования авторов [19—22] использован степенной множитель α , равный 3.

Из равенства (1) выражалась фактическая мощность главного двигателя судна P_{AIS} на промежутке между двумя AIS-сигналами:

$$P_{AIS} = P_{max} \left(\frac{\vartheta_{AIS}}{\vartheta_{max}} \right)^\alpha. \quad (2)$$

Каждый AIS-сигнал передается с привязкой ко времени, интервал составляет от трех секунд до нескольких минут. Для расчета расстояния между навигационными точками (AIS-сигналами) была использована формула гаверсинусов с модификацией для антиподов (3). Полученное угловое расстояние затем переводится в метрическое путем его умножения на радиус Земли.

$$\Delta\sigma = \arctg \left[\frac{\sqrt{A+B}}{C} \right], \quad (3)$$

где $A = (\cos \varphi_2 \sin \Delta\lambda)^2$;
 $B = (\cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda)^2$;
 $C = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos \Delta\lambda$; φ_1, φ_2 — широта двух точек в рад; $\Delta\lambda$ — разница координат по долготе; $\Delta\sigma$ — угловая разница.

Предлагаемый подход к расчету расхода топлива и выбросов согласуется с методологией, предложенной Европейским агентством по окружающей среде [23], Резолюцией ИМО МЕРС.376(80) ⁵ и производился отдельно для каждого судна. Данные о движении судна, характеристики судна и коэффициенты выбросов были объединены для расчета выбросов в пределах исследуемого района.

Для вычисления расхода топлива использовалась формула

$$\Omega = n \cdot 10^{-6} P_{AIS} \tau, \quad (4)$$

где Ω — расход топлива судном в условиях P_{AIS} и времени между навигационными точками, τ ; n — удельный расход топлива (192,9 г/кВт·ч); P_{AIS} — максимальная мощность судна на отрезке между двумя AIS-сигналами (кВт); τ — время движения судна между двумя навигационными точками.

Удельный расход топлива при оценке выбросов на конкретной акватории является значительной неопределенностью. В соответствии с ГОСТ 10150-88 ⁶ удельный расход топлива в зависимости от модели двигателя может изменяться в пределах от 185 до 235 г/кВт·ч. Также следует учитывать, что с возрастом судна удельный расход топлива увеличивается. В [24] приведены данные о среднем удельном расходе топлива судами разных лет постройки и показано, что значения n изменяются от 170 до 218 г/кВт·ч во временном интервале 25 лет, вследствие износа двигателя судно возрастом 15 лет будет затрачивать на 30% больше топлива, чем в первый год эксплуатации. Для преодоления указанной неопределенности был вычислен средний удельный расход топлива по исследуемой акватории на основании анализа данных по бункеровке, который составил 192,9 г/кВт·ч.

Для расчета выбросов судами парниковых газов были использованы рекомендованные Резолюцией ИМО МЕРС.376(80) коэффициенты эмиссии CO_2 , CH_4 , NO_x (табл. 1).

Массу выделенного CO_2 , CH_4 и NO_x для каждого судна (в τ) в данной акватории за весь период исследования исчисляли по формулам:

⁵ Resolution МЕРС.376(80): Guidelines on Life Cycle GHG Intensity of Marine Fuels (LCA Guidelines). Available at: www.marine.gov.my/jlm/wp-content/uploads/Notis/MSN/RESOLUTION-MERC.37680.pdf.

⁶ ГОСТ 10150-88. Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006910/>.

⁴ <https://portcall.marinet.ru>, <https://nsra.ru>, <https://marinetraffic.com>, <https://rs-class.org>.

Таблица 1. Коэффициенты эмиссии, использованные в расчетах эмиссии парниковых газов при международных морских перевозках — МЕРС.376(80)

Table 1. Emission coefficients used in calculations of greenhouse gas emissions from international maritime transport — МЕРС.376(80)

Вид топлива	Коэффициент эмиссии Cf_{CO_2} , г CO_2 /г топлива	Коэффициент эмиссии Cf_{CH_4} , г CH_4 /г топлива	Коэффициент эмиссии Cf_{NO_x} , г NO_x /г топлива
Судовое топливо	3,114	0,00 005	0,00 018

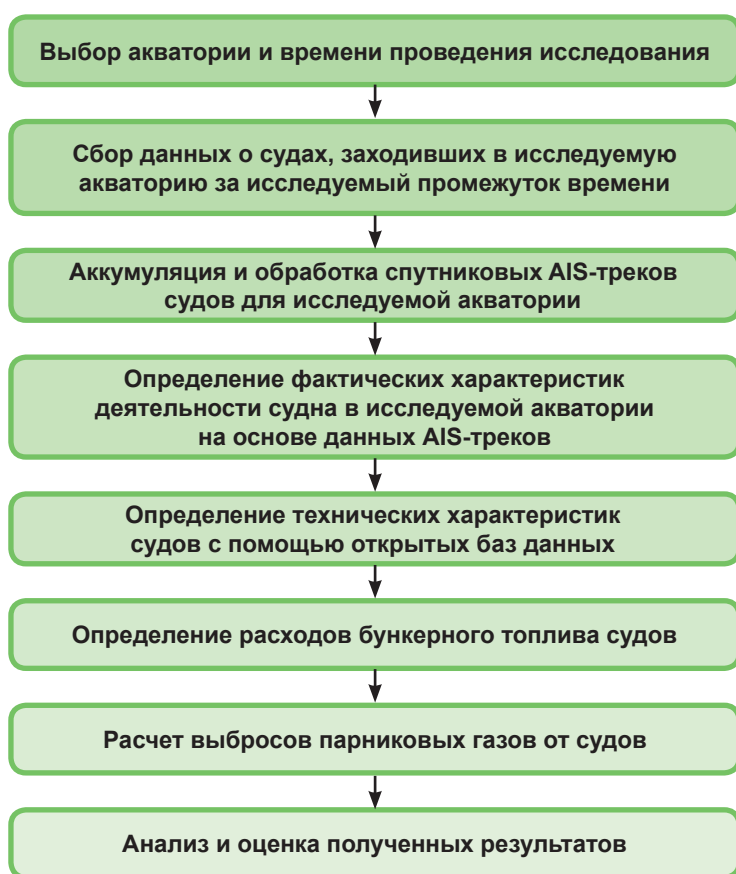


Рис. 1. Методология оценки выбросов парниковых газов
Fig. 1. Methodology for assessing greenhouse gas emissions

$$\mu_{CO_2} = \sum_{i=1}^m \Omega_i Cf_{CO_2}, \quad (5)$$

$$\mu_{CH_4} = \sum_{i=1}^m \Omega_i Cf_{CH_4}, \quad (6)$$

$$\mu_{NO_x} = \sum_{i=1}^m \Omega_i Cf_{NO_x}, \quad (7)$$

где Ω — объем израсходованного топлива, т; Cf_{CO_2} — коэффициент эмиссии углекислого газа; Cf_{CH_4} — коэффициент эмиссии метана; Cf_{NO_x} — коэффициент эмиссии оксидов азота;

Обобщенно методологию оценки выбросов парниковых газов в акватории можно представить в виде схемы (рис. 1).

Результаты исследования и обсуждение полученных данных

Полученные AIS-треки позволили визуализировать количество и направленность всех маршрутов судов исследуемой акватории (рис. 2) с 27.09.2020 по 28.10.2020.

Визуализация, выполненная с помощью программы SAS.Planet ⁷, показала, что выбранная для исследования акватория представляет собой район Баренцева моря с высокой судоходной активностью и плотностью маршрутов. В указанный период в акватории преобладали рыболовные (120) и грузовые (111) суда. Танкерные суда составляли чуть больше 15% общего количества. Это связано с тем, что в этот осенний период продолжался активный рыбный промысел, а удовлетворительные погодные условия и отсутствие ледового покрова способствовали активной навигации грузовых судов. Наличие крупных буксирных судов было, очевидно, обусловлено обеспечением работы береговой инфраструктуры, которая в большом разнообразии присутствует в акватории.

В результате исследования было установлено, что с 27.09.2020 по 28.10.2020 выбранные 299 судов суммарно выбросили в атмосферу 5407,135 т углекислого газа, 0,087 т метана и 0,313 т оксидов азота.

Детализированный анализ выбросов парниковых газов в отношении принадлежности судов к флагу страны, под которым они ходят, показал (рис. 3), что большая часть выбросов углекислого газа в исследуемой акватории приходится на суда под флагом Норвегии (31%), что объясняется развитой морехозяйственной деятельностью этой страны в данной акватории. Также в этом районе наблюдается значительное присутствие судов норвежских береговых инфраструктур, которые обслуживают многочисленные рыболовные и грузовые суда.

В табл. 2 представлена оценка эмиссии парниковых газов от каждого типа судов в выбранной

⁷ <https://www.sasgis.org/sasplaneta/>.

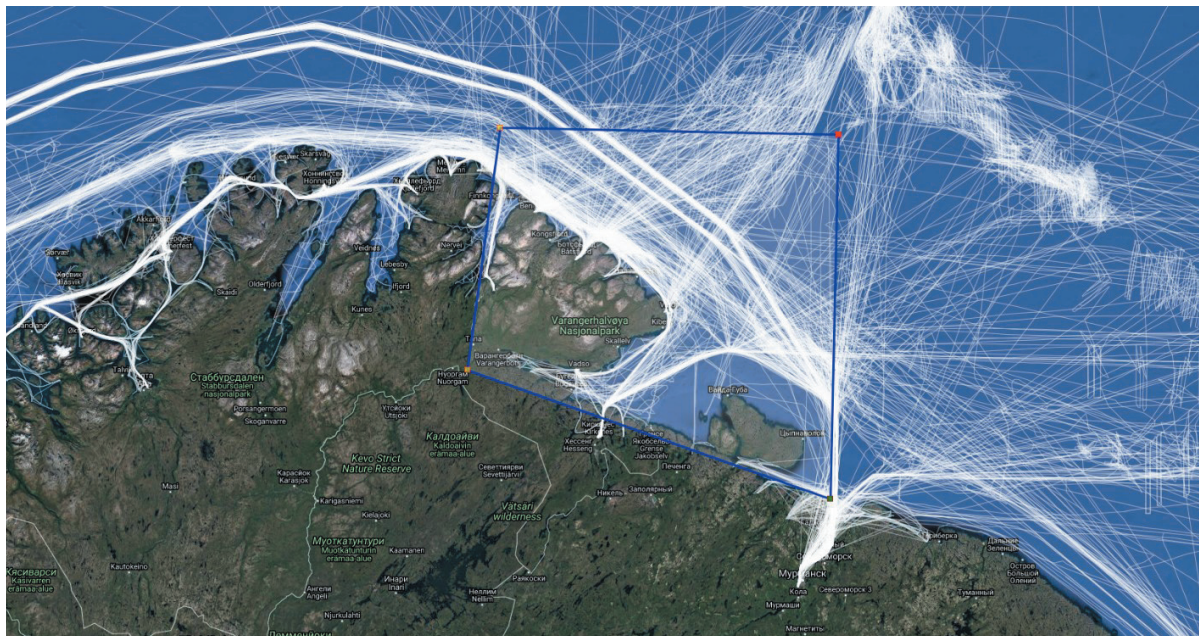


Рис. 2. Исследуемая акватория и маршруты всех судов, идентифицированных в выделенной акватории, за исследуемый период с 27.09.2020 по 28.10.2020

Fig. 2. The water area under study and the routes of all vessels identified in the selected water area during the period under study from 27.09.2020 till 28.10.2020

акватории за указанный период, в соответствии с которой наибольшее количество выбросов произвели грузовые, рыболовные суда и танкеры.

Анализ выбросов судов в зависимости от их типа показал, что больше всего выбросов углекислого газа за исследуемый период произвели грузовые суда. Выбросы от судов с мощными силовыми установками (грузовых судов) кратно превосходят выбросы от судов с двигателями невысокой мощности. Так, количество выбросов от 19 танкеров сопоставимо с эмиссией 120 рыболовных судов, которые составляют основную часть судового трафика акватории.

Оценка динамики эмиссии углекислого газа, метана и оксидов азота в исследуемой акватории на протяжении всего срока исследования (рис. 4) показала четко выраженные недельные периоды пиков эмиссии парникового газа, вероятно, связанные с судовой активностью в период рабочей недели и их падением в выходные дни. При этом отмечалась тенденция к росту выделения углекислого газа за весь

Таблица 2. Выбросы судов в зависимости от их типа за период с 27.09.2020 по 28.10.2020

Table 2. Emissions of ships depending on their type for the period from 27.09.2020 to 28.10.2020

Тип судна	Количество судов	Эмиссия парникового газа, т		
		CO ₂	CH ₄	NO _x
Грузовое судно	111	2318,765	0,037	0,134
Рыболовное судно	120	1186,870	0,019	0,069
Танкер	19	936,865	0,015	0,054
Пассажирское судно	3	495,716	0,008	0,029
Другие типы судов	9	129,891	0,002	0,008
Тип судна не определен	4	93,198	0,001	0,005
Суда специального назначения (дноуглубительные, буксиры, суда для ликвидации разливов нефти, патрульные, парусные)	33	245, 829	0,002	0,013
<i>Итого</i>	299	5407,135	0,087	0,313

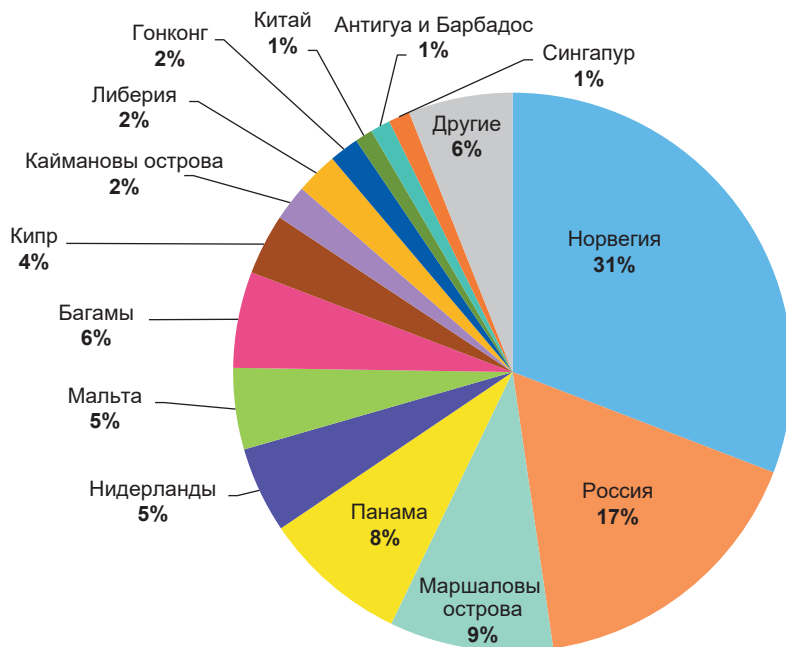


Рис. 3. Объем выбросов CO₂ в зависимости от принадлежности судов к странам
Fig. 3. CO₂ emissions by country of ship affiliation

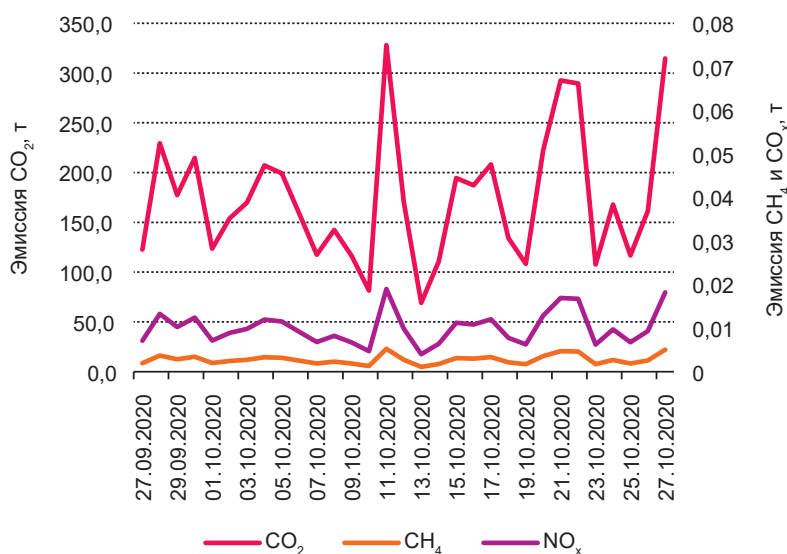


Рис. 4. Динамика эмиссии углекислого газа, оксидов азота и метана в акватории за исследуемый период (27.09.2020–28.10.2020)
Fig. 4. Dynamics of carbon dioxide, methane and nitrogen oxide emissions in the water area during the study period (27.09.2020–28.10.2020)

период наблюдения, что, видимо, объясняется нарастанием транспортной активности в исследуемый период.

Заключение

В работе предложена новая методология оценки эмиссии парниковых газов морскими судами в пределах выделенной арктической акватории с использованием спутниковых AIS-данных. Отличительная особенность предложенной методологии от имеющихся аналогов заключается в том, что она позволяет определять выбросы парниковых газов с учетом фактических ходовых характеристик судна на коротких отрезках между двумя навигационными AIS-сигналами в пределах

выделенной акватории. В статье также отмечены основные неопределенности, снижающие достоверность имеющихся моделей оценки эмиссий парниковых газов с судов. Учет выявленных неопределенностей позволит повысить точность таких подходов.

Настоящая работа в рамках продемонстрированной методологии позволила провести оценку ситуации с эмиссией парниковых газов морскими судами в пределах выделенной арктической акватории. Установлена динамика роста эмиссии морских судов в отношении углекислого газа, метана, оксидов азота. Рассмотрена доля выбросов парниковых газов в зависимости от флага страны судна, пройденного расстояния в рамках исследуемой акватории, времени в пути, типа судна. Показано, что суммарная эмиссия в атмосферу составила 5407,135 т углекислого газа, 0,087 т метана и 0,313 т оксидов азота.

Использование спутниковых данных геоинформационных сервисов открывает дополнительные возможности мониторинга эмиссии парниковых газов в труднодоступных районах арктической акватории, а предложенная методология может быть использована для оценки суммарной эмиссии парниковых газов на всей арктической акватории, включая Баренцево-Евроарктический транспортный коридор, Северный морской путь, а также Азиатско-Тихоокеанский транспортный коридор.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках инициативных НИОКР ФГАОУ ВО МАУ № 124041100089-4 «Экологическая безопасность и устойчивое развитие морских транспортно-логистических и акваториальных систем Арктической зоны РФ» и № 24050700058-6 «Исследование динамики и маршрутов транспортировки углеводородов, прогнозирование сценариев развития транспортно-логистического комплекса в Арктике».

Литература/References

1. Антонов К. Л., Поддубный В. А., Маркелов Ю. И. и др. Некоторые итоги мониторинга парниковых газов в арктическом регионе России // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 1 (29). — С. 56—67. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-1-56-67.
2. Deng Sh., Mi Zh. A review on carbon emissions of global shipping. *Marine Development*, 2023, vol. 1. DOI: 10.1007/s44312-023-00001-2.
3. Koehler H. NO_x Emissions from Oceangoing Ships: Calculation and Evaluation. Conference: ASME 2003 Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference — 2003. DOI: 10.1115/ICES2003-0689.
4. Nunes R. A. O., Alvim-Ferraz M. C. M., Martins F. G., Sousa S. I. V. The activity-based methodology to assess ship emissions — a review. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 231, pp. 87—103. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.07.099.
5. Deniz C., Kilic A., Civkaroglu G. Estimation of shipping emissions in Candarli Gulf, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, vol. 171 (1—4), pp. 219—228. DOI: 10.1007/s10661-009-1273-2.
6. Corbett J. J., Koehler H. W. Updated emissions from ocean shipping. *J. of Geophysical Research Atmospheres*, 2003, vol. 108, D20, p. 4650. DOI: 10.1029/2003JD003751.
7. Jalkanen J. P., Brink A., Kalli J., Pettersson H., Kukkonen J., Stipa T. A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, vol. 9 (23), pp. 9209—9223. DOI: 10.5194/acp-9-9209-2009.
8. Deng Sh., Mi Zh. A review on carbon emissions of global shipping. *Marine Development*, 2023, vol. 1. DOI: 10.1007/s44312-023-00001-2.
9. Mabunda S. A., Astito A., Hamdoun S. Estimating Carbon Dioxide and Particulate Matter Emissions from Ships using Automatic Identification System Data. *Intern. J. of Computer Applications*, 2014, vol. 88. DOI: 10.5120/15358-3823.
10. Li Haijiang, Jia Peng, Wang Xinjian. Ship carbon dioxide emission estimation in coastal domestic emission control areas using high spatial-temporal resolution data: A China case. *Ocean and Coastal Management*, 2022, vol. 232. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106419.
11. Johansson L., Jalkanen J.-P., Kukkonen J. Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution. *Atmospheric Environment*, 2017, vol. 167, pp. 403—415. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.08.042.
12. Chen D., Zhao Y., Nelson P. et al. Estimating ship emissions based on AIS data for port of Tianjin, China. *Atmospheric Environment*, 2016, vol. 145. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.08.086.
13. Chen D., Wang X., Nelson P. et al. Ship emission inventory and its impact on the PM 2.5 air pollution in Qingdao Port, North China. *Atmospheric Environment*, 2017, vol. 166. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.07.021.
14. Chen W.-J., Song B.-L., Zhang J.-S. Carbon emission from coastal container ports in China based on AIS data. *Zhongguo Huanjing Kexue [China Environmental Science]*, 2022, vol. 42, pp. 3403—3411.
15. Chen D., Zhao N., Zhou Y. et al. Contribution of ship emissions to the concentration of PM2.5: A comprehensive study using AIS data and WRF/Chem model in Bohai Rim Region, China. *The Science of the total environment*, 2017, vol. 610—611, pp. 1476—1486. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.255.
16. Li C., Borken-Kleefeld J., Zheng J., Yuan Z. et al. Decadal evolution of ship emissions in China from 2004 to 2013 by using an integrated AIS-based approach and projection to 2040. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2018, vol. 18, pp. 6075—6093. DOI: 10.5194/acp-18-6075-2018.
17. Xiao G., Wang T., Luo Y., Yang D. Analysis of port pollutant emission characteristics in United States based on multiscale geographically weighted regression. *Front. Mar. Sci.*, 2023, 10, 1131948. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1131948>.
18. Wu S., Torp K., Sakr M., Zimanyi E. Evaluation of Vessel CO₂ Emissions Methods using AIS Trajectories. *Intern. Symposium on Spatial and Temporal Databases (SSTD'23)*, 2023. DOI: 10.1145/3609956.3609960.
19. Moreno-Gutiérrez J., Grados C., Uriondo Z., Llamas J. Emission-factor uncertainties in maritime transport in the Strait of Gibraltar, Spain. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2012. DOI: 10.5194/amtd-5-5953-2012.
20. Moreno-Gutiérrez J., Calderay F., Saborid N., Boile M., Valero M., Grados C. Methodologies for Estimating Shipping Emissions and Energy Consumption: A Comparative Analysis of Current Methods. *Energy*, 2015, vol. 86. DOI: 10.1016/j.energy.2015.04.083.
21. Johansson L., Jalkanen J.-P., Kukkonen J. Global assessment of shipping emissions in 2015 on a high spatial and temporal resolution. *Atmospheric Environment*, 2017. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2017.08.042.
22. Ribeiro da Silva J. N., Santos T. A., Teixeira A. P. Methodology for Predicting Maritime Traffic Ship Emissions Using Automatic Identification System Data. *J. of Marine Science and Engineering*, 2024, vol. 12, p. 320. DOI: 10.3390/jmse12020320.
23. Air pollutant emission inventory guidebook. European Environment Agency. 2013. Available at: www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013/file/.
24. Фунтусов А. А. Оценка увеличения расхода топлива вследствие старения морского судна // Транспорт. дело России. — 2015. — № 3. — С. 172—173. Funtusov A. A. Assessment of the increase in fuel consumption due to aging of a marine vessel. *Transport business of Russia*, 2015, no. 3, pp. 172—173. (In Russian).

Информация об авторах

Васильева Жанна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, заведующая научно-исследовательской лабораторией «Экоинжиниринг и мониторинг загрязнений Арктической зоны РФ», Мурманский арктический университет (183010, Россия, Мурманск, Спортивная ул., д. 13), e-mail: kuchugura@mail.ru.

Дзпаров Степан Артурович, магистрант, Мурманский арктический университет (183010, Россия, Мурманск, Спортивная ул., д. 13), e-mail: stepan.dzaparov@mail.ru.

Васёха Михаил Викторович, доктор технических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Логистика в Арктике», Мурманский арктический университет (183010, Россия, Мурманск, Спортивная ул., д. 13), e-mail: vasyoha@mail.ru.

METHODOLOGY FOR ESTIMATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM ARCTIC SHIPPING

Vasileva, Zh. V., Dzaparov, S. A., Vasekha, M. V.

Murmansk Arctic University (Murmansk, Russian Federation)

For citing

Vasileva Zh. V., Dzaparov S. A., Vasekha M. V. Methodology for estimating greenhouse gas emissions from Arctic shipping. *Arctic: Ecology and Economy*, 2024, vol. 14, no. 4, pp. 596—604. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-4-596-604. (In Russian).

The article was received on August 14, 2024

Abstract

In recent years, there has been a significant increase in maritime economic activity in the Arctic zone of the Russian Federation. The intensification of shipping in the Arctic waters leads to an increase in greenhouse gas emissions, for the accurate assessment of which there are currently no effective tools. The study proposes a methodology for the general quantification of emissions from shipping in a specific water area, based on the use of AIS data from satellite systems. Using the proposed approach, the authors for the first time have assessed and analyzed the structure of shipping traffic as a source of emissions and established the dynamics and volumes of greenhouse gas emissions in a specific area of the Arctic water area.

Keywords: *emission assessment, water area, greenhouse gases, Arctic shipping, AIS-data.*

Funding

The research was carried out within the framework of the initiative R&D projects of the Murmansk Arctic University: no. 124041100089-4 “Environmental safety and sustainable development of marine transport, logistics and aquaterritorial systems of the Arctic zone of the Russian Federation” and no. 24050700058-6 “Study of dynamics and routes of transportation of hydrocarbons, forecasting scenarios for the development of the transport and logistics complex in the Arctic”.

Information about the authors

Vasileva, Zhanna Vyacheslavovna, PhD of Engineering, Associate Professor, Head of the Scientific Research Laboratory “Ecoengineering and Pollution Monitoring of the Arctic Zone of the Russian Federation”, Murmansk Arctic University (13, Sportivnaya St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: kuchugura@mail.ru.

Dzaparov, Stepan Arturovich, undergraduate student, Murmansk Arctic University (13, Sportivnaya St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: stepan.dzaparov@mail.ru.

Vasekha, Mikhail Viktorovich, Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Scientific Research Laboratory “Logistics in the Arctic”, Murmansk Arctic University (13, Sportivnaya St., Murmansk, Russia, 183010), e-mail: vasyoha@mail.ru.

© Vasileva Zh. V., Dzaparov S. A., Vasekha M. V., 2024