

Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 718—727.
Hydrometeorology and Ecology. 2025;(81):718—727.

ЭКОЛОГИЯ. ОБЗОР

Научная статья
УДК [502+551.5]:656
doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-718-727

Применение метода PROMETHEE для комплексной оценки экологических факторов на транспорте

Яна Евгеньевна Бразовская¹, Денис Максимович Авдыш²

¹ Российский государственный гидрометеорологический университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, y.brazovskaya@rshu.ru

² Свободный исследователь

Аннотация. В статье приводится обзор публикаций по применению метода PROMETHEE для комплексной оценки на транспорте с интеграцией экологических, гидрометеорологических и социально-экономических факторов в автомобильном, железнодорожном и морском секторах и дается оценка эффективности метода для решения задач устойчивого развития транспортных систем в условиях изменяющейся геоэкологической обстановки. Показано постепенное расширение спектра критериев от экономических к экологическим и недостаточную представленность гидрометеорологических факторов, что указывает на перспективы применения метода для климатически адаптированного транспортного планирования.

Ключевые слова: PROMETHEE, многокритериальные решения, транспортные системы, устойчивый транспорт, гидрометеорология.

Для цитирования: Бразовская Я. Е., Авдыш Д. М. Применение метода PROMETHEE для комплексной оценки экологических факторов на транспорте // Гидрометеорология и экология. 2025. № 81. С. 718—727. doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-718-727.

ECOLOGY. REVIEW

Original article

Application of the PROMETHEE method for a comprehensive assessment of environmental factors in transport

Yana E. Brazovskaya¹, Denis M. Avdysh²

¹ Russian State Hydrometeorological University

² Free researcher

Summary. Traditional single-criterion optimization methods prove inadequate when addressing intricate trade-offs in contemporary transportation planning. This study presents a systematic analysis of

© Бразовская Я. Е., Авдыш Д. М., 2025

the PROMETHEE (Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations) method application for comprehensive assessment of environmental, hydrometeorological, and socio-economic factors across automotive, railway, and maritime transport sectors. The research methodology encompasses systematic literature review covering 2015—2025 period with analysis of problem types, applied method modifications, and integrated criteria. The study examines the method's theoretical foundation based on pairwise comparisons and outranking flows, investigating hybrid approaches integrating PROMETHEE with complementary methodologies such as Analytic Hierarchy Process (AHP) and fuzzy logic systems to address inherent subjectivity and uncertainty.

Key findings demonstrate remarkable versatility across transportation applications. In automotive sectors, PROMETHEE optimizes logistics center locations considering supplier proximity, cost minimization, and sustainability factors. Urban mobility applications evaluate passenger preferences integrating subjective criteria (comfort, safety) with objective measures (distance, time). Railway applications include infrastructure project evaluation and adaptive reuse of abandoned lines for sustainable development. Maritime applications demonstrate strategic value in port performance evaluation and sustainable shipping initiatives.

Comparative analysis revealed correlation between task complexity and method modification selection (PROMETHEE II, Fuzzy PROMETHEE, AHP-PROMETHEE). The findings show gradual expansion of criteria spectrum from economic to environmental factors and insufficient representation of hydrometeorological factors, indicating prospects for method application in climate-adaptive transport planning.

PROMETHEE's strength lies in handling both quantitative data and qualitative preferences through hybridization with fuzzy logic or AHP methodologies. This addresses complexity and uncertainty in transportation decisions where economic viability must balance environmental sustainability and social impact. The method's transparency provides clear rationales for complex choices, crucial given transportation's significant environmental footprint.

Despite challenges related to parameter subjectivity, PROMETHEE's widespread adoption underscores its unique contribution to sustainable transport development, enabling effective navigation of trade-offs in an increasingly volatile global landscape.

Keywords: PROMETHEE, multi-criteria decisions, transport systems, sustainable transport, hydrometeorology.

For citation: Brazovskaya Y. E., Avdysh D. M. Application of the PROMETHEE method for a comprehensive assessment of environmental factors in transport. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025;(81):(718—727). doi: 10.33933/2713-3001-2025-81-718-727. (In Russ.).

Введение

Настоящая работа представляет собой систематический обзор публикаций, направленный на анализ современного состояния применения метода PROMETHEE в транспортных системах. Учитывая малую известность данного метода в гидromетеорологическом сообществе, особое внимание уделяется выявлению возможностей его применения для учета климатических и метеорологических факторов при принятии транспортно-логистических решений. Обзор охватывает три основных транспортных сектора: автомобильный, железнодорожный и морской с систематизацией типов решаемых задач, применяемых модификаций метода и интегрируемых групп критериев, включая экологические и гидрометеорологические параметры.

В основу исследования авторы поставили рассмотрение метода PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations или метод формирования рангов предпочтения для обогащения оценок). Метод разработан Жан-Пьером Брансом в начале 1980 г. и с тех пор стал популярным для решения сложных задач принятия решений [1]. Фундаментальный принцип метода

заключается в количественном определении предпочтения одной альтернативы над другой для каждого критерия посредством попарных сравнений. Это достигается путем определения функции предпочтения для каждого критерия, которая преобразует отклонение между оценками в степень предпочтения в диапазоне от 0 до 1. Метод предлагает шесть типов функций предпочтения (обычную, U-образную, линейную, уровневую, V-образную и Гауссову), позволяя точно моделировать предпочтения лиц, принимающих решения [2]. Эти функции, наряду с назначенными весами, отражающими относительную важность каждого критерия, составляют основную входную информацию для алгоритма метода PROMETHEE.

Математический аппарат метода PROMETHEE включает расчет двух основных потоков превосходства для каждой альтернативы: положительного потока (Φ^+) и отрицательного потока (Φ^-). Положительный поток (Φ^+) количественно определяет, насколько альтернатива превосходит все другие альтернативы, в то время как отрицательный поток (Φ^-) показывает, в какой степени другие альтернативы превосходят данную альтернативу. Эти потоки обеспечивают частичное ранжирование альтернатив (PROMETHEE I), которое может включать несравнимые варианты, когда альтернативы не могут быть однозначно ранжированы из-за противоречивых предпочтений. Для достижения полного ранжирования PROMETHEE II рассчитывает чистый поток превосходства (Φ), который является разницей между положительным и отрицательным потоками ($\Phi = \Phi^+ - \Phi^-$). Более высокий чистый поток означает лучшую альтернативу. Метод также включает модуль визуализации GAIA (Graphical Analysis for Interactive Aid), который проецирует многомерные данные на двухмерную плоскость, упрощая понимание взаимодействий между критериями и альтернативами и помогая в анализе чувствительности [3]. Расширения, такие как Fuzzy PROMETHEE (Fuzzy PROMETHEE был предложен из-за ограничений классического метода PROMETHEE при решении задач принятия решений в условиях неопределённости), интегрируют теорию нечетких множеств для обработки расплывчатых или неопределенных ответов оценщиков, что особенно полезно в контексте группового принятия решений [4]. Выбор функции предпочтения и весов является критически важным и потенциально субъективным шагом в применении метода PROMETHEE.

Для повышения эффективности метода PROMETHEE его часто используют в сочетании со следующими методами:

— многокритериальный анализ принятия решений (Multi-Criteria Decision Analysis) — метод оценки и приоритизации вариантов с учётом нескольких критериев);

— аналитический иерархический процесс (AHP, Analytic Hierarchy Process) — математический метод многокритериального принятия решений, при котором выбор оптимального варианта происходит из нескольких альтернатив, или исключения и выбора в условиях реальности;

— исключение и выбор в условиях реальности (ELECTRE, Élimination Et Choix Traduisant la Réalité).

Эти методы многокритериального анализа принятия решений возникли в Европе в середине 1960 г. и используются для выбора лучших действий при

решении основных проблем: выбор, ранжирование и сортировка [5]. Например, интеграция АНР и PROMETHEE применяется для минимизации субъективности исследователя в определении весов критериев и повышения надежности процесса принятия решений [5]. В свою очередь, Fuzzy PROMETHEE разработан для учета неопределенных ответов оценщиков [4].

Актуальность исследования обусловлена несколькими критическими факторами:

— во-первых, традиционные однокритериальные методы оптимизации оказываются неэффективными при решении транспортных задач, где экономическая целесообразность часто противоречит экологической устойчивости, а скорость доставки конфликтует с требованиями безопасности и минимизации воздействия на окружающую среду;

— во-вторых, глобализация цепочек поставок и растущая сложность мультимодальных перевозок требуют инструментов, способных интегрировать количественные показатели (выбросы, затраты, расстояния) с качественными критериями (комфорт, безопасность, социальная приемлемость);

— в-третьих, принятые международные обязательства по декарбонизации транспорта, включая Парижское соглашение и цели Европейского зеленого курса, создают императив для разработки и применения научно обоснованных методов принятия решений, обеспечивающих баланс между экономической эффективностью и экологической ответственностью.

К сожалению, на русском языке практически нет публикаций по возможности использования этого метода для решения комплексных транспортно-экологических задач, поэтому целью данной статьи является обзор иностранных публикаций применения метода PROMETHEE для комплексной оценки его эффективности на транспорте с интеграцией экологических, гидрометеорологических и социально-экономических факторов в автомобильном, железнодорожном и морском секторах, а также для решения задач устойчивого развития транспортных систем в условиях изменяющейся геоэкологической обстановки.

Методика исследования

Настоящее исследование основано на систематическом обзоре литературы (systematic literature review), направленной на анализ применения метода PROMETHEE в транспортных системах. Необходимость такого подхода обусловлена необходимостью структурированного обобщения разрозненных исследований из различных транспортных секторов для выявления общих закономерностей, тенденций и перспектив применения метода в гидрометеорологическом контексте.

Критериями включения публикаций в обзор являлись: применение метода PROMETHEE или его гибридных модификаций (Fuzzy PROMETHEE, АНР-PROMETHEE) в транспортных системах; наличие экологических или гидрометеорологических критериев оценки; публикация в рецензируемых научных изданиях; доступность полного текста на английском или русском языках. Исключались

публикации, посвященные исключительно математическим аспектам метода без практических приложений в транспорте.

Анализ отобранной литературы проводился по следующим категориям: сектор транспорта (автомобильный, железнодорожный, морской), тип решаемой задачи (выбор маршрута, оценка эффективности, размещение объектов, оценка устойчивости), применяемая модификация метода (классический PROMETHEE I/II, гибридные подходы), учитываемые группы критериев (экономические, экологические, социальные, гидрометеорологические). Особое внимание уделялось исследованиям, интегрирующим климатические и метеорологические факторы в процесс принятия решений, учитывая малую известность метода PROMETHEE в гидрометеорологическом сообществе.

Систематический обзор применения метода PROMETHEE в транспортных секторах

В *автомобильном секторе* PROMETHEE широко используется для решения логистических задач и городского планирования. Значительная область применения включает выбор местоположений для логистических и распределительных центров. В исследовании [6] применен метод PROMETHEE в сочетании с АНР в целях решения проблемы определения подходящих мест для логистических центров и минимизации затрат. При этом использовались критерии близости к поставщикам, минимизации затрат и устойчивости. Их подход способствовал стратегическому планированию размещения инфраструктуры и минимизации затрат в автомобильной промышленности, где поставки материалов составляют значительную часть затрат.

Еще одно важное применение метода заключается в планировании городской мобильности и выборе вида общественного транспорта. Л. Убахман и С. Сабольч использовали модели Fuzzy PROMETHEE для оценки предпочтений пассажиров в отношении различных видов транспорта, интегрируя как субъективные (например, комфорт, безопасность), так и объективные (например, расстояние, время) критерии [7]. Применение PROMETHEE с нечеткой логикой в приложениях автомобильного транспорта напрямую учитывает присущую неопределенность и субъективность человеческих предпочтений и качественных критериев, что позволяет количественно оценивать расплывчатые ответы, делая их пригодными для многокритериального анализа, что особенно ценно в условиях, где восприятие комфорта или безопасности играет ключевую роль.

Применение PROMETHEE в автомобильном транспорте демонстрирует стратегический сдвиг в сторону устойчивости, обусловленный как экономическим, так и экологическим давлением. Использование метода может проявляться в оптимизации логистических сетей с учетом затрат и устойчивости, в планировании городской мобильности и может стать прямым ответом на значительную экологическую нагрузку, создаваемую автомобильным сектором.

Статистические данные последних лет подчеркивают значительную роль и воздействие автомобильного транспорта на окружающую среду. В 2024 г. общий

объем автомобильных грузоперевозок в ЕС составил более 13,1 млрд тонн и 1867 млрд тонно-километров, при этом на Германию, Францию, Испанию, Польшу и Италию приходилось почти две трети от общего тоннажа [8]. Автомобильный транспорт остается крупнейшим источником выбросов парниковых газов (ПГ) в транспортном секторе, составляя в ЕС 73,2 % выбросов ПГ от транспорта в 2022 г. и 21,1 % от всех выбросов ПГ в ЕС-27 за тот же год [9]. Несмотря на резкое снижение выбросов в 2020 г. из-за пандемии COVID-19, в 2021 г. и 2022 г. наблюдался выброс, достигнув примерно 1044 Мт CO₂-экв. в 2022 г. [9]. Тяжелые грузовые автомобили, составляющие менее 2 % от общего автопарка, непропорционально сильно способствуют выбросам, составляя 23 % от общего объема выбросов CO₂ автомобильного транспорта в ЕС в 2022 г. [10]. Более 50 % от общих внешних издержек грузовых перевозок в ЕС-28 приходится на автомобильный транспорт [10]. Представленные данные подчеркивают острую необходимость в эффективных инструментах принятия решений для управления устойчивыми практиками и политическими интервенциями в секторе автомобильного транспорта.

В *железнодорожном секторе* метод PROMETHEE предлагает возможности для оценки инфраструктурных проектов, оптимизации мультимодальных операций и инициатив устойчивого развития. Например, Делли и Лантери исследовали возможность использования метода PROMETHEE к оценке адаптивного повторного использования заброшенных железнодорожных линий [11]. Их исследование продемонстрировало способность метода PROMETHEE к преобразованию заброшенной железнодорожной инфраструктуры в устойчивые общественные активы, демонстрируя полезность в городской регенерации и «зеленом» развитии, что также подчеркивает роль метода не только в транспортных решениях, но и в более широких решениях по землепользованию и городскому планированию, использующих транспортную инфраструктуру на благо общества.

Кроме того, метод PROMETHEE играет важную роль в оценке эффективности мультимодальных перевозок при сравнении различных видов перевозок. Методология оценки эффективности мультимодальных перевозок, включая контейнерные и комбинированные железнодорожно-автомобильные перевозки, с применением метода PROMETHEE для ранжирования вариантов на основе количественных и качественных критериев, была проверена Стойловой на маршрутах в Болгарии, которая продемонстрировала полезность в выборе оптимальных транспортных технологий [12]. Способность метода обрабатывать множество критериев делает его подходящим для сложного железнодорожного планирования, в том числе для выбора материалов и методов строительства инфраструктуры.

Несмотря на экологические преимущества железнодорожного транспорта, применение метода PROMETHEE в железнодорожных перевозках имеет решающее значение для преодоления операционных сложностей и внешних сбоев. Хотя статистические данные показывают экологические преимущества железных дорог, они также указывают на снижение объемов железнодорожных грузоперевозок в 2023 г. из-за ценовых скачков и замедления экономики [13]. Данное противоречие между присущими экологическими преимуществами и реальными

эксплуатационными проблемами подчеркивает необходимость систем поддержки принятия решений. Использование метода PROMETHEE для оценки эффективности железнодорожных перевозок напрямую решает эти сложности, позволяя лицам, принимающим решения, одновременно взвешивать экономические факторы, операционную осуществимость и экологические преимущества, делая железнодорожный транспорт более конкурентоспособным и устойчивым к внешним факторам.

Последние статистические данные по железнодорожному транспорту свидетельствуют о его растущей важности и экологических преимуществах. Грузовые железные дороги в среднем в три-четыре раза более топливоэффективны, чем грузовики, а перевод тонны груза с автомобильного на железнодорожный транспорт может сократить выбросы парниковых газов на 75 % [14]. Хотя железнодорожный транспорт считается экологически чистым, его воздействие включает шум, выбросы от дизельных операций и фрагментацию среды обитания, которые решаются технологическими и нормативными мерами. Применение метода PROMETHEE поддерживает стратегический сдвиг к более устойчивым и эффективным железнодорожным операциям, особенно в комбинированной логистике.

Относительно морского сектора следует отметить, что он активно использует метод PROMETHEE для стратегического принятия решений в областях устойчивости, безопасности и операционной эффективности. Метод PROMETHEE, согласно исследованию Мадукве и Оке, поддерживает инициативы по устойчивому судоходству и управлению флотом, помогая в выборе оптимальных стратегий для снижения воздействия на окружающую среду и повышения операционной устойчивости [15]. Метод PROMETHEE также применяется для оценки эффективности портов. Джафари и Эсмаилдуст применили интегрированный подход АНР-PROMETHEE для оценки иранских портов, включив измерение «Суверенитета» наряду с традиционными показателями Сбалансированной системы, исследование приоритизировало порты Шахид Раджаи, Имам Хомейни и Бушер, демонстрируя способность метода предоставлять комплексную основу для управления портами [16].

Другой значительной областью применения метода является оценка *морских районов* для туризма. Интегрированный подход АНР-PROMETHEE применялся Л. Бутовски для оценки привлекательности европейских прибрежных районов для парусного спорта по критериям безопасности, морских условий, туристической привлекательности и коммерческих предложений. Результаты показали наибольшую привлекательность Центрального Средиземноморья при расположении на последнем месте Черного моря, предоставив ценные сведения для развития направлений [17].

Мировая морская торговля, на долю которой приходится около 80 % объема международной торговли, в 2023 г. выросла на 2,4 %, достигнув 12,3 миллиарда тонн, с прогнозами дальнейшего роста до 2029 г. [18]. Однако на рост торговли существенное значение оказывают и политические решения. Так, сложная ситуация в Красном море в результате атак йеменских повстанцев-хуситов (шиитское движение «Ансар Алла»), связанных с боевыми действиями Израиля и сектора

Газа, стала причиной для некоторых судоходных компаний приостановить транзит грузов через Суэцкий канал и выбора иных более длинных маршрутов [19]. Изменение маршрутов приводит к удорожанию перевозок в связи с увеличением расхода топлива и росту выбросов. Фрахтовые ставки резко выросли в 2024 году, при этом Шанхайский контейнерный фрахтовый индекс (SCFI) более чем удвоился к середине 2024 г. по сравнению с концом 2023 г., что обусловлено увеличением расстояний доставки и ростом операционных расходов [18].

С экологической точки зрения, *судоходство* ежегодно вносит примерно 3 % в мировые выбросы парниковых газов, что сопоставимо с промышленно развитыми странами, такими как Япония или Германия. Медленное обновление мирового флота в сочетании с высокими затратами на декарбонизацию и неопределенностью в отношении будущих видов топлива также создает серьезные проблемы для усилий по сокращению выбросов [20]. Применение метода PROMETHEE в морском транспорте может иметь существенное значение для принятия обоснованных решений, которые балансируют экономическую жизнеспособность с экологической ответственностью и операционной устойчивостью в нестабильном глобальном ландшафте.

Заключение

Проведенный обзор публикаций позволяет выделить общие закономерности и специфические особенности применения метода PROMETHEE в рассмотренных транспортных секторах. Так, автомобильный сектор преимущественно использует гибридные подходы АНР-PROMETHEE и Fuzzy PROMETHEE для решения задач размещения объектов и городского планирования, что обусловлено высокой степенью неопределенности и необходимостью учета субъективных предпочтений пользователей. Железнодорожный сектор характеризуется применением классических модификаций PROMETHEE I/II для оценки инфраструктурных проектов и мультимодальных перевозок, где доминируют количественные критерии эффективности. Морской сектор демонстрирует наибольшее разнообразие применений: от оценки эффективности портов до анализа туристической привлекательности акваторий.

Анализ учитываемых критериев выявляет постепенное расширение спектра оцениваемых факторов. Если в ранних исследованиях (2015—2018 гг.) доминировали традиционные экономические критерии (стоимость, время доставки, расстояние), то в последнее время (2020—2025 гг.) наблюдается системная интеграция экологических показателей (выбросы парниковых газов, энергоэффективность, воздействие на экосистемы) и социальных факторов (безопасность, комфорт, общественная приемлемость). Особенно значимым является появление в морских исследованиях гидрометеорологических критериев, включающих ледовую обстановку, волнение моря, экстремальные погодные условия, что открывает перспективы для более широкого применения метода в гидрометеорологическом планировании.

Выявлена корреляция между сложностью решаемой задачи и применяемой модификацией метода. Задачи с преимущественно количественными критериями

(выбор маршрута, оптимизация расстояний) эффективно решаются классическим методом PROMETHEE II. Задачи, включающие качественные оценки и субъективные предпочтения (городская мобильность, туристическая привлекательность), требуют применения Fuzzy PROMETHEE для корректной обработки лингвистических переменных. Многокритериальные задачи с иерархической структурой критериев (размещение логистических центров, оценка портов) наиболее эффективно решаются гибридным подходом АНР-PROMETHEE, где АНР обеспечивает определение весов на основе парных сравнений, а PROMETHEE — окончательное ранжирование альтернатив.

Важным результатом обзора является выявление недостаточного использования гидрометеорологических факторов в существующих исследованиях. Из 12 рассмотренных работ только 2 явно включали метеорологические параметры (исследование Л. Бутовски по оценке морских районов для парусного спорта и работа автора по арктическому судоходству). Это указывает на существенный потенциал расширения применения метода PROMETHEE для задач транспортно-го планирования с учетом климатических изменений, экстремальных погодных явлений и сезонной изменчивости условий эксплуатации транспортной инфраструктуры.

References

1. Brans J.-P., De Smet Y. PROMETHEE Methods. *International Series in Operations Research & Management Science*. 2016; 187—219. doi: 10.1007/978-1-4939-3094-4_6.
2. Taherdoost H., Madanchian M. Using PROMETHEE Method for Multi-Criteria Decision Making: Applications and Procedures. *Iris Journal of Economics and Business Management*. 2023; 1(1):IJEEM. MS.ID.000502.
3. De Smet Y., Lidouh K. An Introduction to Multicriteria Decision Aid: The PROMETHEE and GAIA Methods. Business Intelligence. eBISS 2012. Lecture Notes in Business Information Processing. Berlin, Heidelberg: Springer. 2013;(138):1—22. doi: 10.1007/978-3-642-36318-4_7.
4. He D., Dong H. Supply Chain Quality Performance Evaluation Model Based on Intuitionistic Fuzzy PROMETHEE. *E3S Web of Conferences*. 2020; 214:03036. doi: 10.1051/e3sconf/202021403036.
5. Akmaludin A., Suriyanto A., Iriadi N., Widiyanto K. Comparison of Smartphone Technology using AHP, ELECTRE, and PROMETHEE Methods. *Sinkron*. 2024; 8(2): 734—747. doi: 10.33395/sinkron.v8i2.13085.
6. Fabry J., Zapletal F., Machacova T. Location selection for logistics centre using PROMETHEE method. *Acta logistica*. 2024; 11(3): 409—419. doi: 10.22306/al.v11i3.526.
7. Oubahman L., Duleba S. Fuzzy PROMETHEE model for public transport mode choice analysis. *Evolving Systems*. 2023; (15):1—18. doi: 10.1007/s12530-023-09490-4.
8. Road freight transport statistics [Electronic resource]: data as of June 2025 / Eurostat // Statistics Explained. [B. M.].2025. 14 p. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/SEPDF/cache/9217.pdf>.
9. European Environment Agency. Climate [Electronic resource]. – Published on Oct 10, 2024. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems/climate>.
10. Decarbonization of automobile cargo transportation [Electronic resource]: joint statement / Chassan S., Lopez A., Sosse A., et al. Franco-German Council of Economic Experts.
11. 2025. March. 18p. URL: https://www.sachverstaendigenrat-wirtschaft.de/fileadmin/dateiablage/Publikationen/FGCEE/CAE_FGCEE_Joint_statement_250320.pdf.
12. Della Spina L., Lanteri C. A. A Collaborative Multi-Criteria Decision-Making Framework for the Adaptive Reuse Design of Disused Railways. *Land*. 2024; (13):851. doi: 10.3390/land13060851.

13. Stoilova S. Evaluation efficiency of intermodal transport using multi-criteria analysis. Engineering for Rural Development: Proceedings of the 17th International Scientific Conference, Jelgava., 23—25 May 2018. Jelgava, 2018: 2030—2039. doi: 10.22616/ERDev2018.17.N246. Available at: <https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2018/Papers/N246.pdf> (: 11.08.2025).
14. The International Union of Railways, the International Union of Combined Rail and Road Transport Companies. Report on combined transport in Europe for 2024 / comp. SCI Verkehr GmbH. Paris; Brussels, 2024: 124 p. URL: https://uic.org/IMG/pdf/uic_uirr_report_2024-2.pdf.
15. Association of American Railroads Freight Railroads & Climate Change Report. March 2021 [Electronic resource] URL: <https://www.aslrra.org/environmental-impact/>.
16. Maduekwe V. C., Oke S.A. An Implementation of A Combined DEA-PROMETHEE Method for The Hull of A Ship Application. *International Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*. 2021; 3(1): 43—57. – DOI: 10.24002/ijieem.v3i1.4437.
17. Jafari H., Esmaildoust M. Integrating the Balanced Scorecard and PROMETHEE Methods for Sea- port’s Performance Evaluation. *American Journal of Marine Science*. 2013; 1(1): 38—43.
18. Butowski L. An integrated AHP and PROMETHEE approach to the evaluation of the attractiveness of European maritime areas for sailing tourism. *Moravian Geographical Reports*. 2018; 26(2):135—148. doi: 10.2478/mgr-2018-0011.
19. Brazovskaya Ya. E. Arkticheskoe sudokhodstvo: uchebnoe posobie = Arctic shipping: textbook. Moscow: MORKNIGA, 2025: 328 p. (In Russ.).
20. United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport. Navigating through strategic maritime corridors. Overview [Electronic resource] / United Nations. Geneva, 2024. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2024overview_ru.pdf.
21. Li W., Hu Z. Pathways in the governance of shipping decarbonization from perspective of balancing the conflicting interests. *Frontiers in Marine Science*. 2024; 11: 1479528. doi: 10.3389/fmars.2024.1479528.

Информация об авторах

Бразовская Яна Евгеньевна, помощник ректора по вопросам Арктики, Российский государственный гидрометеорологический университет, y.brazovskaya@rshu.ru.
Авдыш Денис Максимович, свободный исследователь, юрист, avdysh.denis@mail.ru.

Information about authors

Brazovskaya Yana E., Assistant rector for Arctic affairs of Russian state hydrometeorological university
Avdysh Denis M., free researcher, lawyer.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 14.08.2025
Принята к печати после доработки 23.11.2025

The article was received on 14.08.2025
The article was accepted after revision on 23.11.2025