

УДК 627.1

Комплексный подход к снижению аварийности на внутренних водных путях Арктического региона России

Н. А. Волкова^{1,2}

¹Российский государственный гидрометеорологический университет, Российская Федерация, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Российская Федерация, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38

Для цитирования: Волкова Н. А. Комплексный подход к снижению аварийности на внутренних водных путях Арктического региона России // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 3. — С. 761–775. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775

Аннотация

Цель: Анализ аварийности на внутренних водных путях России с акцентом на Арктический регион, выявление ключевых факторов риска и разработка мер по повышению безопасности судоходства.

Методы: Использованы статистический анализ данных за 2007–2024 гг., гидрографическая оценка водных путей, многофакторный анализ причин аварийности, сравнение эффективности современных и традиционных методов навигации. **Результаты:** Выявлены основные типы происшествий: посадки на мель (35 %), столкновения (25 %), затопления судов (15 %). Определены ключевые причины: человеческий фактор (42 %), нарушения эксплуатации (28 %), износ инфраструктуры (20 %), экстремальные погодные условия (10 %). **Практическая значимость:** Разработаны рекомендации по модернизации навигационных систем с применением технологий ГЛОНАСС/GPS; созданию сети аварийно-спасательных пунктов; внедрению специализированных программ подготовки экипажей; усилению экологического мониторинга с использованием дронов и датчиков. Реализация предложенных мер позволит снизить аварийность на 30–40 % и минимизировать экологический ущерб в Арктическом регионе.

Ключевые слова: Внутренние водные пути, Арктика, аварийность судов, навигационная безопасность.

Введение

Судоходство на внутренних водных путях Арктики сталкивается с уникальными вызовами, обусловленными экстремальными природными условиями и возрастающей антропогенной нагрузкой [1, 2]. В отличие от других регионов России, арктические речные системы характеризуются коротким периодом навигации, сложной ледовой обстановкой и высокой чувствительностью экосистем, что многократно увеличивает потенциальные последствия аварийных ситуаций.

Современные тенденции показывают устойчивый рост интенсивности судоходства в Арктике, связанный с развитием Трансарктического транс-

портного коридора и увеличением объемов перевозок. Однако инфраструктура водных путей, значительная часть которой была создана несколько десятилетий назад, не всегда соответствует современным требованиям безопасности. Особую озабоченность вызывает состояние гидротехнических сооружений, средний возраст которых превышает 35 лет, а степень износа достигает критических значений.

При этом существующие системы навигационного обеспечения и подготовки экипажей зачастую не учитывают специфику арктического судоходства. Климатические изменения, проявляющиеся в увеличении частоты экстремаль-

ных гидрометеорологических явлений, создают дополнительные риски для безопасности судоходства.

В этих условиях особую актуальность приобретает разработка комплексного подхода к обеспечению безопасности, сочетающего современные технические решения, усовершенствованные методы управления и адаптированные к арктическим условиям нормативные требования. Необходимость такого подхода подтверждается анализом динамики аварийности, показывающим устойчивый рост количества инцидентов, особенно с экологическими последствиями.

Проведенное исследование направлено на выявление ключевых факторов аварийности и разработку практических мер по повышению безопасности судоходства с учетом особенностей Арктического региона.

1. Гидрографическая характеристика арктических внутренних водных путей

Арктический регион России обладает развитой сетью внутренних водных путей, играющих ключевую роль в транспортной системе и экономике северных территорий. К числу наиболее значимых водных артерий относятся крупные речные системы: Обь с ее притоками, Енисей, Лена, Печора и Северная Двина, а также участки реки Амур в пределах Арктической зоны. Эти реки отличаются протяженными судоходными участками, однако их эксплуатация осложняется выраженной сезонностью навигации, значительными колебаниями уровней воды и сложными ледовыми условиями.

Гидрологический режим арктических водных путей характеризуется рядом специфических особенностей. Короткий период навигации (от 120 до 180 суток в зависимости от широты) сочетается с экстремальными гидрометеорологическими условиями, включая паводковый режим, интенсивное ледообразование и резкие изменения уров-

ней воды. Эти факторы существенно влияют на безопасность судоходства, требуя разработки специальных подходов к организации транспортного процесса и созданию адаптированной к арктическим условиям инфраструктуры.

Современные климатические изменения вносят дополнительные сложности в эксплуатацию арктических водных путей. Наблюдаемое увеличение неустойчивости ледового покрова, смещение сроков ледостава и вскрытия рек, а также учащение экстремальных гидрологических явлений (паводков, заторов льда) диктуют необходимость совершенствования систем мониторинга и прогнозирования, а также разработки новых технологических решений для обеспечения безопасного судоходства в условиях меняющейся Арктики.

2. Статистика и характер аварийности на арктических водных путях

Анализ данных за последние 18 лет (2007–2024 гг.) свидетельствует о высокой аварийности на внутренних водных путях Арктического региона [3]. Наибольшее количество инцидентов зафиксировано на крупнейших речных системах — Оби, Енисее и Лене, которые являются основными транспортными артериями для снабжения северных территорий. Согласно официальной статистике, на эти три реки приходится около 65% всех зарегистрированных происшествий в Арктической зоне. Особую тревогу вызывает тенденция к увеличению количества аварий с экологическими последствиями, что связано с ростом объемов перевозок нефтепродуктов и других опасных грузов.

Характерным примером серьезного инцидента стало столкновение танкера «Ерофей Хабаров» с баржей на реке Лена в июне 2023 г., в результате которого произошел разлив 82 т бензина. Этот случай наглядно демонстрирует типичные для арктического судоходства риски: сложные гидрологические условия, недостаточную оснащенность

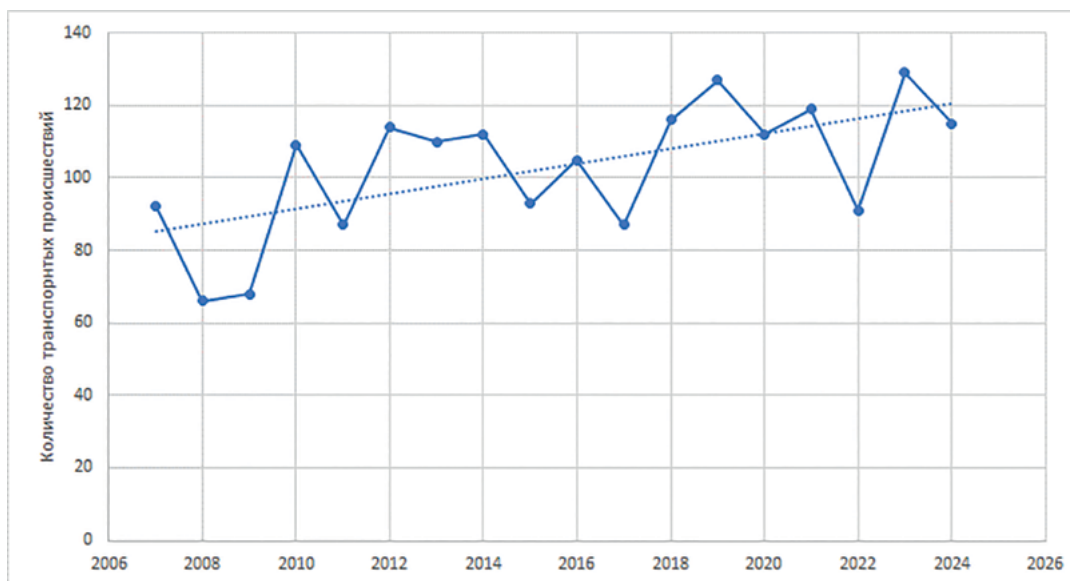


Рис. 1. Общее количество транспортных происшествий за год на внутренних водных путях России, график построен автором по данным [3]

навигационным оборудованием и проблемы с профессиональной подготовкой экипажей.

Статистический анализ показывает устойчивую динамику роста количества инцидентов (рис. 1). Если в 2015–2020 гг. среднегодовое число происшествий составляло 85–90 случаев, то к 2023 г. этот показатель увеличился до 129. При этом наиболее опасными с точки зрения последствий являются аварии танкеров и судов, перевозящих опасные грузы, частота которых возросла на 25% за последние пять лет.

Географическое распределение аварийности имеет четкую привязку к сложным участкам судоходства:

- перекатам и мелководным фарватерам (42% случаев);
- районам с интенсивным ледовым режимом (23%);
- подходам к портам и местам погрузки/разгрузки (18%).

Особую проблему представляют участвовавшие случаи столкновений с маломерными судами, доля которых в общей статистике увеличилась с 7 до 15% за последнее десятилетие. Это требует пересмотра системы регулирования движения на

внутренних водных путях и усиления контроля за соблюдением навигационных правил.

3. Характеристика и причины аварийных происшествий на внутренних водных путях

Анализ данных таблицы аварийности (табл. 1) на внутренних водных путях за период 2007–2024 гг. выявил волнообразную динамику количества происшествий, характеризующуюся следующими пиковыми значениями:

- 2010 г. — 109 случаев;
- 2012 г. — 114 случаев;
- 2014 г. — 112 случаев;
- 2019 г. — 127 случаев;
- 2023 г. — 129 случаев.

Эксплуатационные инциденты составляют основную долю (в среднем 90% от общего числа), тогда как аварии (катастрофы с тяжелыми последствиями) — лишь 3–7% ежегодно.

Анализ аварийности на внутренних водных путях позволяет выделить несколько основных типов происшествий, каждый из которых имеет специфические причины и последствия. Наиболее распространенным видом инцидентов явля-

Таблица 1. Анализ аварийности на внутреннем водном транспорте. Таблица составлена автором по данным [3]

Наименование показателей	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Всего транспортных происшествий	92	66	68	109	87	114	110	112	93	105	87	116	127	112	119	91	129	115
в том числе																		
аварий	6	1	3	2	2	4	5	4	7	6	5	1	7	1	0	3	4	6
эксплуатационных происшествий	84	65	65	107	85	110	105	108	86	99	82	115	120	111	119	88	125	109
По видам:																		
1. Столкновения	8	3	9	14	5	16	14	7	11	9	7	11	8	4	13	12	15	20
2. Удар	31	15	11	36	25	53	24	50	37	46	33	48	46	40	55	35	41	49
3. Затопление судов	4	6	5	3	8	8	6	7	9	2	7	3	10	4	3	5	3	7
4. Посадка на мель	34	31	38	42	41	37	48	40	23	34	29	37	40	43	28	23	31	27
5. Повреждение гидротехнических сооружений	8	7	1	14	8	0	16	8	12	9	8	11	23	20	19	7	20	12
6. Прочие	0	3	4	–	–	–	2	–	1	5	3	6	–	1	1	9	19	–

ются посадки на мель, составляющие около 35 % от общего числа зарегистрированных случаев. Данный тип аварийности обусловлен комплексом факторов, включая сложные гидрологические условия, сезонные колебания уровней воды и недостаточное содержание судовых ходов. Характерным примером может служить инцидент, произошедший в июне 2023 г., когда груженная мазутом баржа «Бельская-74» села на мель на Нижнекамшинском перекате реки Белая. Данное происшествие привело к 107-часовому простоя судна и создало реальную угрозу экологической катастрофы.

Вторым по частоте типом происшествий (25 % случаев) являются столкновения, которые подразделяются на несколько категорий: столкновения между крупнотоннажными судами (15%); навалы на маломерные суда (55%); столкновения с гидротехническими сооружениями (30%).

Особую опасность представляют инциденты с участием маломерных судов, как это произошло в июне 2023 г. на Волге, когда теплоход «ОТА-954» в сцепке с баржами столкнулся с надувной лодкой, что привело к гибели одного человека.

Анализ подобных случаев свидетельствует о том, что основными причинами являются несоблюдение правил расхождения судов и недостаточный контроль за движением маломерного флота в зонах интенсивного судоходства.

Затопления судов, составляющие около 15 % от общего числа происшествий, чаще всего связаны с техническими неисправностями корпусных конструкций (40 % случаев); нарушением правил эксплуатации (35 %); последствиями других аварийных ситуаций (25 %).

Яркой иллюстрацией может служить инцидент 2022 г. на реке Ока, когда после столкновения с маломерным судном затонул грузовой теплоход. Особую категорию составляют аварии с разливами нефтепродуктов, которые, несмотря на относительно небольшую долю в общей статистике (5 %), представляют наибольшую экологическую опасность. Подобные инциденты требуют особого внимания при разработке превентивных мер и систем оперативного реагирования.

Многофакторный анализ причин аварийности на внутренних водных путях выявляет комплекс

взаимосвязанных причинно-следственных связей. Доминирующим фактором (в 42 % случаев) выступают судоводительские ошибки, включающие:

- навигационные просчеты при прохождении сложных участков;
- недооценку гидродинамических эффектов при расхождении судов;
- игнорирование данных о течениях и ветровом дрейфе;
- неправильную интерпретацию показаний навигационных приборов.

Особенно критичными эти ошибки становятся в условиях арктического судоходства, где к традиционным сложностям добавляются экстремальные гидрометеорологические условия и ограниченная видимость.

Существенный вклад в аварийность (28 % случаев) вносят нарушения правил эксплуатации судов, среди которых наиболее опасными являются несоблюдение регламентов бункеровки (открытая заправка, использование некондиционного топлива); превышение допустимой осадки и перегруз судов; несвоевременное техническое обслуживание рулевых и двигательных систем; нарушение правил загрузки и крепления грузов.

Яркой иллюстрацией служит трагический инцидент, произошедший в мае 2023 г. на реке Обь, где в результате грубого нарушения правил бункеровки произошло возгорание судна, повлекшее за собой гибель капитана. Не менее значимым фактором (20 % случаев) остается неудовлетворительное состояние инфраструктуры: устаревшая система навигационного обслуживания; несвоевременное проведение дноуглубительных работ; недостаточное количество убежищ и мест аварийной стоянки; износ гидротехнических сооружений.

Особую категорию рисков (10 % случаев, но с наиболее тяжелыми последствиями) составляют экстремальные погодные условия, такие как ранние и поздние ледовые явления, штормовые

ветра, вызывающие сильное волнение, внезапные паводки и колебания уровней воды, ограниченная видимость из-за туманов и осадков.

В настоящее время наблюдаются климатические изменения, которые приводят к увеличению частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений. Следует отметить, что в большинстве случаев аварии происходят при сочетании нескольких неблагоприятных факторов, что требует комплексного подхода к разработке профилактических мер.

4. Многоплановые последствия аварийности на внутренних водных путях

Аварии на внутренних водных путях влекут за собой комплекс негативных последствий, имеющих выраженную социально-экономическую и экологическую составляющую. Антропогенные потери, согласно официальной статистике за 2022–2024 гг., составили 6 погибших, при этом анализ показывает устойчивую тенденцию к росту травматизма среди членов экипажей (на 15 % по сравнению с предыдущим пятилетним периодом). Хотя общее число летальных случаев снижается, сохраняется опасность отдельных инцидентов с человеческими жертвами, особенно при столкновениях с маломерными судами.

Наиболее значимым с точки зрения долгосрочного воздействия является экологический ущерб, особенно при разливах нефтепродуктов. Как уже упоминалось, в июне 2023 г. на реке Лена в водную экосистему попало 82 тонны бензина, что демонстрирует типичные последствия таких аварий: загрязнение акватории на площади 12,5 км²; гибель гидробионтов в прибрежной зоне; долгосрочное изменение биохимического состава донных отложений; необходимость проведения многолетнего экологического мониторинга.

Следует отметить, что в арктических условиях процессы естественной регенерации экосистем протекают значительно медленнее (в 3–5 раз по

сравнению с умеренными широтами), что многократно увеличивает экологический ущерб.

Экономические последствия аварийности проявляются в нескольких аспектах:

1. Прямые потери, которые включают простой судов (в среднем 72 часа на инцидент), затраты на аварийно-спасательные работы, утилизацию поврежденных судов.

2. Косвенные убытки, содержащие прерывание транспортных логистических цепочек, снижение инвестиционной привлекательности регионов и рост страховых тарифов на перевозки.

3. Долгосрочные последствия, включающие необходимость модернизации инфраструктуры, увеличение затрат на экологическую реабилитацию, потерю репутационного капитала судоходными компаниями.

Средняя стоимость ликвидации последствий одного серьезного инцидента в арктических условиях составляет 15–20 млн рублей, при этом экологические аварии требуют в 3–4 раза больших затрат. Эти данные подчеркивают экономическую целесообразность инвестиций в превентивные меры и системы раннего предупреждения аварийных ситуаций.

5. Основные тенденции, выявленные при анализе динамики аварийности на внутренних водных путях

Наблюдаемая в последние годы динамика аварийности на внутренних водных путях Арктического региона демонстрирует ряд значимых тенденций, требующих научного осмысления и адекватного управленческого реагирования. Наиболее выраженной является устойчивый рост общего количества инцидентов: по итогам 2023 г. зарегистрировано 129 происшествий, что на 41,7% превышает показатель предыдущего года (91 случай). Такой значительный прирост объясняется комплексом взаимосвязанных факторов, включая:

- увеличение интенсивности судоходства (на 18%, по данным Росморречфлота);
- прогрессирующий износ инфраструктуры (средний возраст гидротехнических сооружений превышает 35 лет);
- недостаточные темпы модернизации навигационного оборудования;
- климатические изменения, приводящие к увеличению числа экстремальных гидрометеорологических явлений.

Парадоксальным образом на фоне общего роста количества инцидентов отмечается снижение числа аварий с летальным исходом. В 2023 г. зафиксировано 2 случая гибели людей против 3 в 2022 г., что продолжает устойчивую тенденцию последнего пятилетия (среднегодовое снижение на 5,3%). Данная динамика может быть объяснена внедрением современных систем безопасности на судах, улучшением организации аварийно-спасательных служб, ужесточением контроля за соблюдением правил судоходства и повышением профессиональной подготовки экипажей.

Однако следует отметить, что данная положительная тенденция не распространяется на случаи травматизма, количество которых остается стабильно высоким (в среднем 7–9 случаев в год).

Беспокойство вызывает резкий рост количества повреждений гидротехнических сооружений (ГТС) — с 7 случаев в 2022 г. до 20 в 2023-м (увеличение на 185%). Столь значительный скачок обусловлен критическим уровнем износа основных фондов (по экспертным оценкам, до 60% ГТС требуют капитального ремонта), увеличением интенсивности эксплуатации, применением судов, не соответствующих габаритам сооружений и недостаточным финансированием текущего содержания.

Анализ показывает, что 65% повреждений ГТС происходят на шлюзах и причальных сооружениях, построенных еще в советский период и не проходивших капитальной реконструкции. Это создает серьезные риски для устойчиво-

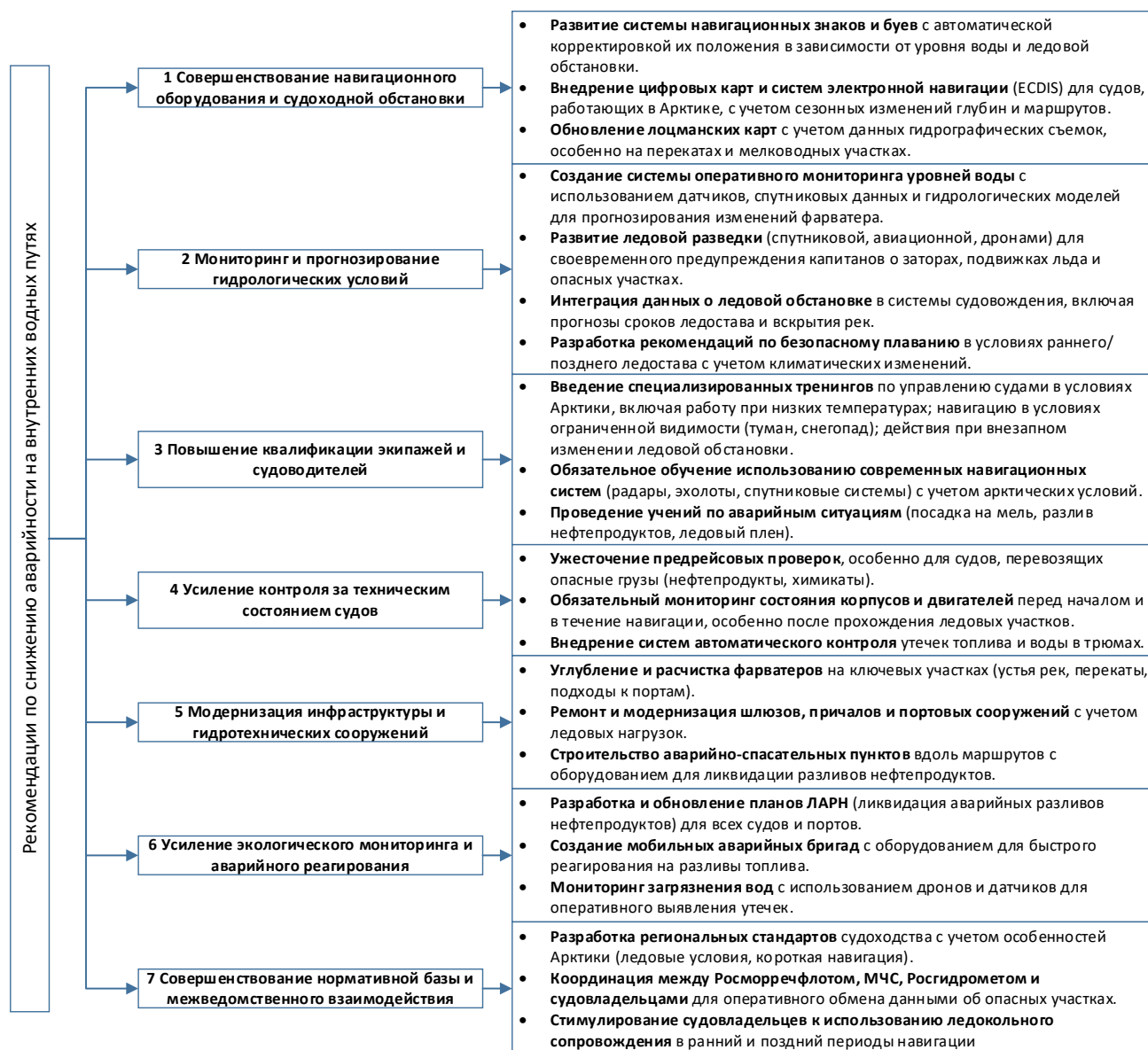


Рис. 2. Рекомендации по снижению аварийности на внутренних водных путях. Схема составлена автором

сти всей транспортной системы арктического судоходства и требует безотлагательных мер по модернизации инфраструктуры.

6. Рекомендации по снижению аварийности на внутренних водных путях Арктики

Рекомендации по снижению к аварийности на внутренних водных путях можно свести к следующей схеме (рис. 2). Для составления рекомендаций использованы материалы публикаций [1–18].

Совершенствование навигационного обеспечения арктического судоходства

Современные требования к безопасности судоходства в Арктическом регионе диктуют необходимость кардинального пересмотра подходов к организации навигационного оборудования. Ключевым направлением модернизации должно стать создание адаптивной системы навигационных знаков нового поколения, оснащенных автоматическими системами позиционирования с коррекцией по данным ГЛОНАСС,

датчиками контроля ледовой обстановки, гидрологическими сенсорами для мониторинга уровней воды и системами дистанционного управления положением биев.

Также важное значение приобретает внедрение интегрированных систем электронной навигации (ECDIS), специально адаптированных для арктических условий. Эти системы должны включать: динамические цифровые карты с автоматическим обновлением сезонных изменений фарватеров, актуальные данные о глубинах и миграции перекатов и мелей; модуль прогнозирования ледовой обстановки; систему автоматического оповещения о навигационных опасностях; интерфейс интеграции с метеорологическими сервисами.

Перспективным направлением является внедрение комбинированных систем навигации, сочетающих спутниковый мониторинг, береговые радиолокационные станции, подводные акустические маяки, беспилотные мониторинговые платформы.

Реализация этих мер позволит повысить безопасность судоходства в условиях нарастающей транспортной нагрузки и климатических изменений в Арктическом регионе.

Совершенствование системы мониторинга и прогнозирования гидроледотермических условий

В современных условиях требуется создание комплексной системы мониторинга гидрологических и ледовых условий, основанной на принципах мультисенсорного подхода. Перспективным направлением является разработка распределенной сети автоматизированных гидрологических постов, интегрирующих датчики уровня воды с точностью ± 1 см, расходомеры нового поколения, автоматизированные ледемерные станции и подледные акустические профилографы.

Данные с наземных датчиков должны дополняться спутниковой информацией с космических аппаратов серий «Арктика-М» и «Канопус-В»,

обеспечивающей ежедневный мониторинг ледового покрова, оперативное выявление заторов льда, контроль динамики паводковых процессов, выявление опасных гидрологических явлений.

Современные технологии ледовой разведки должны включать многоуровневую систему наблюдений: спутниковый мониторинг с разрешением до 1 м, авиационную разведку с использованием специализированных самолетов-лабораторий и беспилотных летательных аппаратов дальнего радиуса действия, надводные и подледные автономные дроны, а также стационарные подледные датчики.

Перспективным направлением является разработка специализированных рекомендаций по судоходству в условиях климатических изменений, включающих алгоритмы прохождения зон раннего/позднего ледостава; методы оценки несущей способности льда; тактику маневрирования в условиях подвижных ледовых полей; стратегии преодоления заторов льда.

Реализация этих мер требует создания специализированных центров обработки данных, оснащенных суперкомпьютерными комплексами, системами искусственного интеллекта для анализа больших данных, верифицированными гидродинамическими моделями, системами визуализации гидрометеорологической информации.

Совершенствование системы профессиональной подготовки для арктического судоходства

Современные требования к безопасности судоходства в Арктическом регионе обуславливают необходимость кардинального пересмотра подходов к подготовке судовых экипажей. Ключевым направлением должно стать внедрение специализированных тренинговых программ, адаптированных к экстремальным условиям высоких широт. Такие программы должны включать комплексный курс по особенностям судоходства при отрица-

тельных температурах, охватывающий методы предотвращения обледенения корпуса и надстроек, специфику работы судовых механизмов в условиях низких температур, психофизиологические аспекты работы персонала в холодном климате и особенности эксплуатации спасательного оборудования при минусовых температурах.

Особое внимание в системе подготовки должно уделяться формированию навыков навигации в условиях ограниченной видимости, характерных для Арктического региона. Современные тренинговые комплексы должны включать:

1) полномасштабные симуляторы с реалистичным моделированием снежных зарядов и туманов, полярной ночи и белых ночей, ледовых полей различной концентрации;

2) виртуальные полигоны для отработки действий при внезапном изменении ледовой обстановки, появлении незапланированных препятствий, отказах навигационного оборудования;

3) практические занятия по использованию современных навигационных комплексов в экстремальных условиях.

Реализация такой комплексной системы подготовки позволит существенно повысить уровень безопасности судоходства в условиях нарастающих климатических изменений и увеличения транспортной нагрузки на арктические водные пути.

Совершенствование системы технического контроля судов арктического плавания

Современные требования к безопасности судоходства в условиях Арктики диктуют необходимость усиления контроля за техническим состоянием судов, осуществляющих плавание в высоких широтах. Особое внимание должно уделяться процедурам предрейсового осмотра, которые для судов, перевозящих опасные грузы, должны включать расширенный комплекс проверок, в том числе детальную диагностику корпусных конструкций с применением ультразвуковой

дефектоскопии, проверку систем герметичности грузовых танков и переборок, тестирование аварийных систем отключения и блокировки, контроль состояния изоляционных материалов и антикоррозионных покрытий.

В течение навигационного периода должен осуществляться обязательный мониторинг критически важных элементов судовых конструкций, особенно после прохождения ледовых участков. Для этого целесообразно внедрение:

1) автоматизированных систем контроля: толщины корпусных конструкций, напряжений в силовых элементах, состояния сварных швов;

2) регулярных водолазных осмотров подводной части корпуса;

3) комплексной диагностики главных и вспомогательных двигателей;

4) мониторинга состояния рулевых устройств и движительных комплексов.

Перспективным направлением повышения безопасности является внедрение интеллектуальных систем автоматического контроля, включающих распределенную сеть датчиков утечек в трюмах и отсеках, системы раннего предупреждения о поступлении забортной воды, автоматические газоанализаторы в грузовых и балластных танках, системы контроля параметров топлива и смазочных материалов, комплексы мониторинга вибрации и температурных режимов.

Реализация комплексной системы технического контроля позволит существенно снизить аварийность, обусловленную техническими отказами, и повысить уровень безопасности арктического судоходства в условиях экстремальных климатических воздействий.

Совершенствование инфраструктуры арктического судоходства: приоритетные направления

Модернизация гидротехнической инфраструктуры арктических водных путей требует ком-

плексного подхода, учитывающего экстремальные природно-климатические условия региона. Первоочередной задачей является оптимизация судоходных фарватеров на критически важных участках, включающая систематическое проведение дноуглубительных работ на перекатах с использованием современных земснарядов; расчистку русел в устьевых участках рек, подверженных интенсивному заилению; создание обходных каналов в зонах со сложным гидрологическим режимом; применение гидродинамических методов регулирования русловых процессов.

Для обеспечения оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации необходимо создание сети аварийно-спасательных пунктов, оснащенных специализированными плавсредствами ледового класса, комплектами оборудования для ликвидации разливов нефтепродуктов, мобильными насосными станциями, системами экстренной связи и навигации, запасами сорбентов и боновых заграждений.

Оптимальное размещение таких пунктов должно учитывать интенсивность судоходства, статистику аварийности, особенности гидрологического режима и доступность транспортных коммуникаций.

Усиление экологического мониторинга и аварийного реагирования

Для минимизации экологического ущерба от разливов нефтепродуктов необходимо совершенствовать систему мониторинга и механизмы оперативного реагирования. Ключевым направлением является разработка и регулярное обновление планов ЛАРН (ликвидация аварийных разливов нефтепродуктов) для всех судов и портов. Эти планы должны включать детальные протоколы действий в случае аварийных ситуаций, что позволит сократить время реагирования и снизить негативные последствия для морских экосистем.

Еще одним важным элементом является создание мобильных аварийных бригад, оснащенных специализированным оборудованием для локализации и ликвидации разливов топлива. Такие бригады должны быть готовы к немедленному разворачиванию в зоне ЧС, обеспечивая быстрое устранение загрязнений. Параллельно необходимо внедрять современные технологии мониторинга, включая использование беспилотных летательных аппаратов (дронов) и автоматизированных датчиков, позволяющих оперативно выявлять утечки нефтепродуктов и оценивать масштабы загрязнения водной среды.

Совершенствование нормативной базы и межведомственного взаимодействия

Для обеспечения безопасности судоходства в Арктическом регионе необходимо разработать специализированные региональные стандарты, учитывающие его уникальные природные условия. К ним относятся повышенные ледовые нагрузки, короткий навигационный период и сложные гидрометеорологические условия. Адаптация нормативных требований к этим факторам позволит минимизировать аварийные риски и повысить эффективность морских перевозок.

Важным аспектом является усиление координации между ключевыми ведомствами, включая Росморречфлот, МЧС, Росгидромет и представителей судоходных компаний. Создание единой системы оперативного обмена данными о ледовой обстановке, опасных участках и прогнозируемых погодных изменениях позволит своевременно корректировать маршруты судов и предотвращать аварийные ситуации.

Дополнительной мерой может стать стимулирование судовладельцев к использованию ледокольного сопровождения в наиболее рискованные периоды навигации — ранний и поздний сезоны. Это может включать субсидирование услуг ледоколов или предоставление налоговых льгот, что

повысит экономическую привлекательность безопасного судоходства и снизит нагрузку на экосистемы Арктики.

Заключение

Снижение аварийности судов в условиях Арктики требует реализации многофакторной стратегии, объединяющей технические, организационные и природоохранные аспекты. Ключевым элементом является модернизация судового состава, включая оснащение судов усиленными корпусами, современными навигационными системами и дублирующими энергетическими установками, адаптированными к экстремальным ледовым условиям. Параллельно необходимо развивать береговую инфраструктуру — строить аварийно-спасательные станции, ремонтные доки и пункты заправки, расположенные с учетом логистики арктического судоходства.

Особую значимость приобретает совершенствование системы мониторинга гидрологических и ледовых условий. Внедрение спутникового наблюдения в сочетании с сетью автономных буев и подводных датчиков позволит получать актуальные данные о толщине льда, течениях и других параметрах, критически важных для безопасной навигации. Эти сведения должны интегрироваться в единую информационную платформу для обеспечения оперативного принятия решений.

Не менее важным направлением является профессиональная подготовка экипажей, включающая:

- специализированную подготовку по ледовому плаванию;
- регулярные тренинги по действиям в аварийных ситуациях;
- отработку взаимодействия с ледоколами и спасательными службами.

Принципиальное значение имеет развитие системы прогнозирования и управления рисками. Создание математических моделей, учитываю-

щих ледовую динамику, метеоусловия и антропогенные факторы, позволит заблаговременно выявлять потенциально опасные ситуации. Для оперативного реагирования на ЧС необходимо сформировать мобильные аварийные бригады, оснащенные специализированным оборудованием для локализации разливов топлива и проведения спасательных операций в условиях низких температур.

Реализация указанных мер позволит снизить вероятность аварийных ситуаций, минимизировать их экологические последствия и обеспечить устойчивое развитие арктического судоходства. Эффективность предлагаемого подхода подтверждается мировым опытом эксплуатации судов в полярных водах, где аналогичные комплексные решения уже доказали свою результативность.

Список источников

1. Мунарев А. Н. Внутренние угрозы транспортной безопасности российского судоходства в современных условиях на внутренних водных путях / А. Н. Мунарев // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2023. — № 4. — С. 124–127. — EDN WNMZOC.
2. Веселов Г. В. Проблемы эффективности и безопасности судоходства на внутренних водных путях / Г. В. Веселов, С. Е. Ионов, В. И. Минеев и др. // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — № 1. — С. 155–158.
3. Обзор аварийности с судами на море и внутренних водных путях Российской Федерации. 2008–2024. — URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/rostransnadzor/podrazdeleniya/sea/deyatelnost-podrazdeleniya/81>.
4. Каретников В. В. Повышение навигационной безопасности плавания по затруднительным для судоходства участкам внутренних водных путей при использовании 3D электронных навигационных карт / В. В. Каретников, К. И. Ефимов, А. А. Прохоренков // Вестник государственного университета морского и речного флота им.

адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 7–20. — DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-7-20.

5. Рубан А. Д. правовое обеспечение безопасности эксплуатации внутреннего водного транспорта в РФ / А. Д. Рубан // Океанский менеджмент. — 2025. — № 1(30). — С. 12–15.

6. Сафонова А. П. Актуальность внедрения геоинформационных систем управления судоходством и обеспечения безопасности на внутреннем водном транспорте в Республике Беларусь / А. П. Сафонова, А. П. Афанасьев // Перспективы развития транспортного комплекса: материалы III Международной заочной научно-практической конференции, Минск, 03–05 октября 2017 года / Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника». — Минск: Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника», 2017. — С. 36–41. —

7. Онищенко И. С. Обзор развития требований по обеспечению безопасности эксплуатации судов внутреннего плавания / И. С. Онищенко // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2025. — Т. 17. — № 1. — С. 75–85. — DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-75-85.

8. Каретников В. В. К вопросу оценки рисков на внутреннем водном транспорте Российской Федерации / В. В. Каретников, К. И. Ефимов, А. А. Сикарев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 22–27. — DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-22-27.

9. Бурмистров Е. Г. Модельно-алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы поддержки принятия решений при угрозе потери поперечной остойчивости речного пассажирского судна / Е. Г. Бурмистров, А. В. Валяев, Е. А. Лукина, Ю. С. Федосенко // Морские интеллектуальные технологии. — 2024. — № 4-2(66). — С. 70–78. — DOI: 10.37220/MIT.2024.66A.061.

10. Зайкова С. Н. Комплексность обеспечения безопасности на внутреннем водном транспорте / С. Н. Зайкова // Административное и муниципальное право. — 2023. — № 4. — С. 65–79. — DOI: 10.7256/2454-0595.2023.4.43672.

11. Рябухо Е. Н. Сравнительный анализ аварийности судов на морских путях Российской Федерации за I квартал 2022 и 2023 гг. / Е. Н. Рябухо, А. В. Шлома // Образование и наука: современный вектор развития: материалы III Национальной научно-практической кон-

ференции, Керчь, 20–21 мая 2024 года. — Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2024. — С. 70–75.

12. Лобанов В. А. Ледовые качества и ледовая аварийность флота внутреннего и смешанного плавания / В. А. Лобанов // Интернет-журнал Науковедение. — 2013. — № 4(17). — С. 69.

13. Шаронов А. Ю. Особенности гидрометеорологического обеспечения внутренних водных путей / А. Ю. Шаронов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 4(58). — С. 39–45.

14. Зуев В. Ф. Основные аспекты повышения точности местоопределения судов на сложных участках внутренних водных путей / В. Ф. Зуев, О. В. Соляков // Журнал университета водных коммуникаций. — 2012. — № 3. — С. 160–164.

15. Титов А. В. Современное состояние и проблемы использования внутренних водных путей (на примере Волго-Каспийского морского судоходного канала): монография / А. В. Титов, С. Н. Зайкова, И. А. Волынский, А. А. Хмельницкая; под общей редакцией А. В. Титова. — Пенза: Социосфера, 2017. — 528 с. DOI: 10.24044/book.2017.1.

16. Уртминцев Ю. Н. Речные информационные системы как фактор повышения эффективности работы внутреннего водного транспорта / Ю. Н. Уртминцев // Научные проблемы водного транспорта. — 2024. — № 80. — С. 249–257. — DOI: 10.37890/jwt.vi80.524.

17. Плющаев В. И. Цифровая система диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях / В. И. Плющаев // Вестник Воронежского государственного технического университета. — 2024. — Т. 20. — № 4. — С. 26–32. — DOI: 10.36622/1729-6501.2024.20.4.004.

18. Биргер А. Я. Некоторые проблемные вопросы диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации / А. Я. Биргер, В. В. Каретников, Ю. Г. Андреев // Транспортное дело России. — 2024. — № 4. — С. 258–263.

Дата поступления: 25.07.2025

Решение о публикации: 31.08.2025

Контактная информация:

ВОЛКОВА Надежда Александровна — канд. физ.-мат. наук; navolkova@aari.ru

An Integrated Approach to Reducing Accidents on Inland Waterways in the Arctic Region of Russia

N. A. Volkova^{1,2}

¹Russian State Hydro-Meteorological University, 79, Voronezhskaya str., Saint Petersburg, 193007, Russian Federation.

²Arctic and Antarctic Research Institute, 38, Beringa str., Saint Petersburg, 199397, Russian Federation.

For citation: Volkova N. A. An Integrated Approach to Reducing Accidents on Inland Waterways in the Arctic Region of Russia // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 3, pp. 761–775. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775

Summary

Purpose: To analyse accidents on inland waterways in Russia with a particular focus on the Arctic zone. To identify the key risk factors. To develop measures to improve navigation safety. **Methods:** The data for the period 2007–2024 was subjected to statistical analysis, while a hydrographic assessment of the waterways was also conducted. Furthermore, a multivariate analysis of accident causes was performed, and a comparison was made of the effectiveness of modern and traditional navigation methods. **Results:** The primary categories of accidents identified were groundings (35%), collisions (25%), and ship sinking (15%). The primary causes have been identified as follows: human error (42%), operational violations (28%), infrastructure wear and tear (20%), and extreme weather conditions (10%). **Practical significance:** Recommendations have been formulated for the modernisation of navigation systems through the utilisation of GLONASS/GPS technologies; the establishment of a network of emergency rescue stations; the introduction of specialised crew training programmes; and the augmentation of environmental monitoring using unmanned aerial vehicles (UAVs) and sensors. The implementation of the proposed measures is expected to result in a 30–40% reduction in accidents and a significant minimisation of environmental damage in the Arctic region.

Keywords: Inland waterways, Arctic, ship accident rate, navigation safety.

References

1. Munarev A. N. Vnutrennie ugrozy transportnoy bezopasnosti rossiyskogo sudokhodstva v sovremennykh usloviyakh na vnutrennikh vodnykh putyakh [Internal threats to transport security of Russian shipping in modern conditions on inland waterways]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East]. 2023, Iss. 4, pp. 124–127. (In Russian)
2. Veselov G. V., Ionov S. E., Mineev V. I. et al. Problemy effektivnosti i bezopasnosti sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putyakh [Problems of efficiency and safety of shipping on inland waterways]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Scientific problems of transport in Siberia and the Far East]. 2013, Iss. 1, pp. 155–158. (In Russian)
3. *Obzor avariynosti s sudami na more i vnutrennikh vodnykh putyakh Rossiyskoy Federatsii. 2008–2024* [Overview of accidents involving vessels at sea and inland waterways of the Russian Federation. 2008–2024]. Available at: <https://rostransnador.gov.ru/rostransnador/podrazdeleniya/sea/deyatelnost-podrazdeleniya/81>. (In Russian)
4. Karetnikov V. V., Efimov K. I., Prokhorenkov A. A. Povyshenie navigatsionnoy bezopasnosti plavaniya po zatrudnitel'nykh dlya sudokhodstva uchastkam vnutrennikh vodnykh putey pri ispol'zovanii 3D elektronnykh navigatsionnykh kart [Improving navigation safety of navigation in difficult sections of inland waterways using 3D electronic navigation charts]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* [Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet]

named after Admiral S. O. Makarov]. 2025, vol. 17, Iss. 1, pp. 7–20. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-7-20. (In Russian)

5. Ruban A. D. Pravovoe obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii vnutrennego vodnogo transporta v RF [Legal support for the safety of inland water transport operation in the Russian Federation]. *Okeanskiy menedzhment* [Ocean Management]. 2025, Iss. 1(30), pp. 12–15. (In Russian)

6. Safonova A. P., Afanas'ev A. P. Aktual'nost' vnedreniya geoinformatsionnykh sistem upravleniya sudokhodstvom i obespecheniya bezopasnosti na vnutrennem vodnom transporte v Respublike Belarus' [Relevance of implementing geo-information systems for managing shipping and ensuring safety in inland water transport in the Republic of Belarus]. *Perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa: materialy III Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Prospects for the development of the transport complex: materials of the III International Correspondence Scientific and Practical Conference]. Minsk: Belorusskiy nauchno-issledovatel'skiy institut transporta "Transtekhnika" Publ., 2017, pp. 36–41. (In Russian)

7. Onishchenko I. S. Obzor razvitiya trebovaniy po obespecheniyu bezopasnosti ekspluatatsii sudov vnutrennego plavaniya [Overview of the development of requirements for ensuring the safety of inland navigation vessels]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S. O. Makarova* [Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov]. 2025, vol. 17, Iss. 1, pp. 75–85. DOI: 10.21821/2309-5180-2025-17-1-75-85. (In Russian)

8. Karetnikov V. V., Efimov K. I., Sikarev A. A. K voprosu otsenki riskov na vnutrennem vodnom transporte Rossiyskoy Federatsii [On the issue of risk assessment in inland water transport of the Russian Federation]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology]. 2017, Iss. 2, pp. 22–27. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-22-27. (In Russian)

9. Burmistrov E. G., Valyaev A. V., Lukina E. A., Fedosenko Yu. S. Model'no-algoritmicheskoe obespechenie

avtomatizirovannoy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri ugroze poteri poperechnoy ostoichivosti rechnogo passazhirskogo sudna [Model-algorithmic support of an automated decision support system in case of threat of loss of transverse stability of a river passenger vessel]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii* [Marine Intellectual Technologies]. 2024, Iss. 4-2(66), pp. 70–78. DOI: 10.37220/MIT.2024.66A.061. (In Russian)

10. Zaykova S. N. Kompleksnost' obespecheniya bezopasnosti na vnutrennem vodnom transporte [Complexity of safety provision in inland water transport]. *Administrativnoe i munitsipal'noe pravo* [Administrative and Municipal Law]. 2023, Iss. 4, pp. 65–79. DOI: 10.7256/2454-0595.2023.4.43672. (In Russian)

11. Ryabukho E. N., Shloma A. V. Sravnitel'nyy analiz avariynosti sudov na morskikh putyakh Rossiyskoy Federatsii za 1 kvartal 2022 i 2023 gg. [Comparative analysis of vessel accidents on sea routes of the Russian Federation for the 1st quarter of 2022 and 2023]. *Obrazovanie i nauka: sovremennyy vektor razvitiya: materialy III Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kerch', 20–21 maya 2024 goda* [Education and Science: Modern Development Vector: Materials of the III National Scientific and Practical Conference, Kerch, May 20–21, 2024]. Kerch: FGBOU VO "Kerchenskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnologicheskii universitet" Publ., 2024, pp. 70–75. (In Russian)

12. Lobanov V. A. Ledovye kachestva i ledovaya avariynost' flota vnutrennego i smeshannogo plavaniya [Ice qualities and ice accident rate of inland and mixed navigation fleet]. *Internet-zhurnal Naukovedenie* [Internet Journal Naukovedenie]. 2013, Iss. 4(17), p. 69. (In Russian)

13. Sharonov A. Yu. Osobennosti gidrometeorologicheskogo obespecheniya vnutrennikh vodnykh putey [Features of hydrometeorological support of inland waterways]. *Ekspluatatsiya morskogo transporta* [Exploitation of maritime transport]. 2009, Iss. 4(58), pp. 39–45. (In Russian)

14. Zuev V. F., Solyakov O. V. Osnovnye aspekty povysheniya tochnosti mestoopredeleniya sudov na slozhnykh uchastkakh vnutrennikh vodnykh putey [Main aspects of improving the accuracy of vessel positioning in difficult sections of inland waterways]. *Zhurnal universiteta vodnykh*

kommunikatsiy [Journal of University of Water Communications]. 2012, Iss. 3, pp. 160–164. (In Russian)

15. Titov A. V., Zaykova S. N., Volynskiy I. A., Khmel'nitskaya A. A. *Sovremennoe sostoyanie i problemy ispol'zovaniya vnutrennikh vodnykh putey (na primere Volgo-Kaspiyskogo morskogo sudokhodnogo kanala): monografiya* [Modern state and problems of using inland waterways (on the example of the Volga-Caspian Sea Shipping Canal): monograph]. Penza: Sotsiosfera Publ., 2017, 528 p. DOI: 10.24044/book.2017.1. (In Russian)

16. Urtmintsev Yu. N. *Rechnye informatsionnye sistemy kak faktor povysheniya effektivnosti raboty vnutrennego vodnogo transporta* [River information systems as a factor in increasing the efficiency of inland water transport operation]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta* [Scientific problems of water transport]. 2024, Iss. 80, pp. 249–257. DOI: 10.37890/jwt.vi80.524. (In Russian)

17. Plyushchaev V. I. *Tsifrovaya sistema dispetcherskogo regulirovaniya dvizheniya sudov na vnutrennikh vodnykh putyakh* [Digital system of vessel traffic dispatching control

on inland waterways]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Technical University]. 2024, vol. 20, Iss. 4, pp. 26–32. DOI: 10.36622/1729-6501.2024.20.4.004. (In Russian)

18. Birger A. Ya., Karetnikov V. V., Andreev Yu. G. *Nekotorye problemnye voprosy dispetcherskogo regulirovaniya dvizheniya sudov na vnutrennikh vodnykh putyakh Rossiyskoy Federatsii* [Some problematic issues of vessel traffic dispatching control on inland waterways of the Russian Federation]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport Business of Russia]. 2024, Iss. 4, pp. 258–263. (In Russian)

Received: July 25, 2025

Accepted: August 31, 2025

Author's information:

Nadezhda A. VOLKOVA — PhD in Physics and Mathematics; navolkova@aari.ru