

УДК 556, 614.87

DOI: 10.37890/jwt.vi86.671

Стратегические направления развития гидрологического прогнозирования для обеспечения безопасности и эффективности судоходства в России до 2035 года

Н.А. Волкова^{1,2}

ORCID: 0000-0002-9272-4713

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Надёжное гидрологическое прогнозирование является критически важным элементом для обеспечения безопасности мореплавания и эффективности работы водного транспорта в условиях роста частоты и интенсивности опасных гидрологических явлений. В статье проведён анализ текущего состояния системы гидрологического прогнозирования Росгидромета с точки зрения задач судоходства. Выявлены ключевые проблемы, ограничивающие её потенциал: технологическое отставание, дефицит данных в реальном времени, недостаточная детализация прогнозов для акваторий портов и внутренних водных путей. На основе системного подхода сформулированы стратегические направления развития до 2035 года, включая цифровизацию, внедрение ансамблевых и вероятностных методов, развитие наблюдательной сети и специализированных сервисов для транспортной отрасли. Предложены целевые показатели, такие как повышение оправдываемости штормовых предупреждений и прогнозов ледовой обстановки до 98%, а также создание интегрированных систем поддержки принятия решений для капитанов и лоцманов. Реализация стратегии позволит существенно повысить уровень безопасности судоходства, оптимизировать логистику и минимизировать экономические риски для морского и речного транспорта.

Ключевые слова: гидрологическое прогнозирование, безопасность судоходства, водный транспорт, стратегия развития, ансамблевые прогнозы, Росгидромет, опасные гидрологические явления.

Strategic development trends in hydrological forecasting to ensure navigation safety and efficiency in Russia until 2035

Nadezhda A. Volkova^{1,2}

ORCID: 0000-0002-9272-4713

¹Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

²Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

Abstract. Reliable hydrological forecasting is critical for ensuring the safety of navigation and the efficiency of water transport in conditions of increasing frequency and intensity of hazardous hydrological phenomena. This article analyzes the current state of the Roshydromet hydrological forecasting system from the perspective of shipping objectives. Key challenges limiting its potential were identified: technological lag, a lack of real-time data, and insufficient forecast detail for port waters and inland waterways. Based on the system approach, strategic development trends until 2035 were formulated, including digitalization, the implementation of ensemble and probabilistic methods, the development of an observation network, and specialized services for the transport industry. Target indicators were proposed, such as increasing the accuracy of storm warnings and ice forecasts to 98%.

as well as the creation of integrated decision support systems for captains and pilots. The strategy implementation will significantly improve navigation safety, optimize logistics, and minimize economic risks for maritime and river transport.

Keywords: hydrological forecasting, navigation safety, water transport, development strategy, ensemble forecasts, Roshydromet, hazardous hydrological phenomena.

Введение

Ускоряющиеся климатические изменения приводят к росту частоты, интенсивности и масштабов опасных гидрологических явлений (ОЯ), таких как штормовые нагоны, опасные волнения, аномальные сгонно-нагонные явления, экстремальные ледовые условия, а также паводки и сели, разрушающие береговую инфраструктуру. Для водного транспорта эти явления создают прямую угрозу безопасности мореплавания, приводят к простоям флота, повреждениям портовых сооружений, срывам графиков грузоперевозок и, как следствие, к значительным экономическим потерям. В условиях возрастающей климатической нестабильности обеспечение надежного и заблаговременного гидрологического прогнозирования перестает быть чисто метеорологической задачей и становится критически важным элементом стратегического управления транспортной логистикой и обеспечения эксплуатационной надежности всей отрасли.

Современная система гидрологического прогнозирования Росгидромета, являющаяся основным источником информации для капитанов, лоцманов и судовладельцев, сталкивается с рядом системных вызовов. К ним относятся технологическое отставание, недостаточная плотность наблюдательной сети в ключевых для судоходства районах, дефицит специализированных прогностических продуктов для акваторий портов и фарватеров, а также слабая интеграция с цифровыми системами управления транспортными потоками. [1-15]

Целью статьи является разработка стратегических направлений развития системы гидрологического прогнозирования в Российской Федерации на период до 2035 года, ориентированных на повышение уровня безопасности и эффективности работы водного транспорта. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- провести комплексный анализ текущего состояния системы гидрологического прогнозирования Росгидромета и выявить ключевые проблемы, наиболее остро влияющие на обеспечение нужд морского и речного судоходства;
- сформулировать приоритетные направления развития, включая модернизацию наблюдательной сети в портах и на внутренних водных путях, внедрение цифровых двойников акваторий, развитие ансамблевого и вероятностного прогнозирования волнения, ледовой обстановки и уровней воды, а также интеграцию искусственного интеллекта для создания специализированных сервисов;
- определить целевые показатели эффективности системы, такие как повышение заблаговременности и точности прогнозов для судоходства, увеличение оправдываемости штормовых предупреждений для акваторий, и оценить ожидаемый социально-экономический эффект от их реализации для воднотранспортного комплекса.

Объектом исследования выступает система гидрологического прогнозирования Росгидромета в контексте ее взаимодействия с задачами водного транспорта. В работе использованы методы системного анализа научных публикаций и нормативно-технической документации, регламентирующей гидрометеорологическое обеспечение судоходства, изучение отчетных материалов Росгидромета и профильных транспортных ведомств, а также методы экспертной оценки, основанные на мнениях специалистов в области гидрологии и морской инженерии.

1. Современное состояние и диагностика проблем

1.1. Достижения последнего десятилетия (2014-2024 гг.)

За последние десять лет в Российской Федерации достигнут существенный прогресс в развитии системы гидрологического прогнозирования. Одним из ключевых достижений стало развертывание специализированных геоинформационных систем (ГИС), таких как «АМУР», «ВОЛГА» и общенациональная платформа «Гидрология». Эти системы позволили интегрировать пространственные данные о гидрологическом режиме, автоматизировать формирование прогнозов и повысить оперативность принятия управленческих решений на региональном и федеральном уровнях. [1]

Научно-методическая база прогнозирования была укреплена за счёт внедрения современных гидрологических и гидродинамических моделей, включая отечественные разработки – ПЛАВ (прогноз уровня воды), ECOMAG (модель формирования стока на основе физико-статистических принципов), а также адаптацию мезомасштабной метеорологической модели ICON-RU для нужд гидрологического прогнозирования. Это способствовало повышению пространственной детализации и физической обоснованности прогнозов, особенно в условиях сложного рельефа и неоднородного снежного покрова.

Важным шагом в обеспечении автономности и оперативности мониторинга стало развитие отечественной спутниковой группировки. Запуск аппаратов «Арктика-М» и «Электро-Л» обеспечил регулярное получение данных о состоянии ледового покрова, снежном запасе, температуре поверхности и других критически важных параметрах, особенно в труднодоступных арктических и дальневосточных регионах.

В совокупности эти меры привели к заметному росту качества прогнозной деятельности: по данным Росгидромета, оправдываемость предупреждений об опасных гидрологических явлениях (ОЯ) выросла с 91,6 % в 2013 году до 96,4 % в 2023 году [1], что свидетельствует о повышении надёжности и доверия к прогнозной информации со стороны органов власти и населения.

1.2. Ключевые системные проблемы

Несмотря на достигнутые успехи, система гидрологического прогнозирования в России сталкивается с рядом глубоких системных ограничений (рис. 1), которые снижают её адаптивность к новым климатическим и социально-экономическим вызовам.



Рис. 1. Структура системных проблем в современной системе гидрологического прогнозирования РФ (рисунок автора)

Системные проблемы можно объединить в следующие группы:

1) Прогностические ограничения. Преобладание детерминированных подходов к прогнозированию не позволяет адекватно учитывать неопределённость метеорологических входных данных и внутреннюю изменчивость гидрологических процессов. Доля вероятностных и ансамблевых прогнозов в оперативной практике не превышает 10 % [1], а заблаговременность долгосрочных (сезонных и межсезонных) прогнозов остаётся недостаточной для эффективного планирования в водном хозяйстве и энергетике.

2) Проблемы с данными и мониторингом. Несмотря на развитие отечественной спутниковой группировки, значительная часть входных данных по-прежнему поступает из зарубежных источников (например, данные Copernicus, NOAA), что создаёт риски технологической зависимости. Кроме того, наблюдательная сеть характеризуется низкой плотностью и недостаточной автоматизацией: менее 30 % гидропостов передают данные в режиме, близком к реальному времени [1]. Особенно остро ощущается дефицит информации о русловых деформациях, что критично при прогнозировании паводков в динамически изменяющихся речных системах.

3) Технологическая фрагментация. Автоматизация процессов прогнозирования носит фрагментарный характер: многие этапы (подготовка исходных данных, калибровка моделей, интерпретация результатов) всё ещё требуют ручного вмешательства. Высокая рабочая нагрузка на прогнозистов – в среднем более 200 прогнозов на одного специалиста в год – приводит к усталости, снижению качества анализа и росту риска ошибок.

4) Инфраструктурная разобщённость. Отсутствует глубокая интеграция между метеорологическими и гидрологическими моделями: зачастую гидрологические прогнозы строятся на основе упрощённых метеорологических сценариев, что снижает их точность. Кроме того, слабо развиты методики прогнозирования для устьевых зон рек и арктических территорий, где взаимодействие речного стока, ледовых условий и уровня моря требует комплексного моделирования.

5) Кадровый дефицит. Система сталкивается с острым недостатком молодых специалистов, обладающих компетенциями в области гидрологии, численного моделирования и анализа больших данных. Существующие программы повышения квалификации не всегда соответствуют темпам технологических изменений, что затрудняет внедрение инновационных решений в оперативную практику.

Несмотря на значительные достижения последнего десятилетия, для обеспечения устойчивого развития гидрологического прогнозирования в условиях климатической нестабильности требуется системная трансформация как технологической, так и организационной основы отрасли.

2. Стратегические направления развития до 2035 года

Стратегические направления развития гидрологического прогнозирования в России можно свести к шести пунктам (рис. 2).

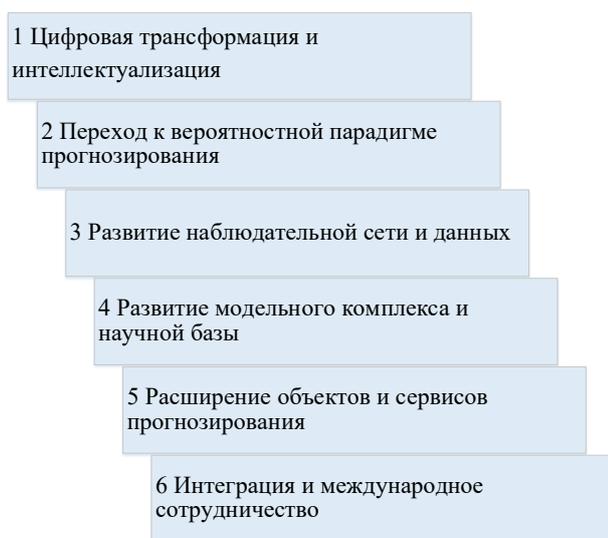


Рис. 2. Стратегические направления развития гидрологического прогнозирования (рисунок автора)

2.1. Направление: «Цифровая трансформация и интеллектуализация»

В условиях нарастающей сложности гидрологических процессов и роста требований к оперативности и точности прогнозов ключевым стратегическим вектором развития системы гидрологического прогнозирования в Российской Федерации до 2035 года выступает цифровая трансформация, сопровождаемая интеллектуализацией всех этапов прогнозного цикла. Данное направление предполагает переход от частично автоматизированных, экспертно-ориентированных процедур к полностью интегрированной, самообучающейся и адаптивной цифровой экосистеме, способной обеспечивать высокоточные прогнозы в реальном времени.

2.1.1. Полная автоматизация выпуска краткосрочных прогнозов на основе ГИС-платформ

Планируется завершение перехода к полностью автоматизированному формированию краткосрочных (до 72 часов) гидрологических прогнозов на базе унифицированных геоинформационных платформ (включая модернизированные версии систем «АМУР», «ВОЛГА» и общенациональной платформы «Гидрология»). Автоматизация будет охватывать все этапы – от сбора и предварительной обработки метеорологических и гидрологических данных до генерации и верификации прогнозных продуктов. Это позволит снизить субъективную составляющую, минимизировать временные задержки и высвободить экспертный ресурс прогнозистов для решения задач более высокого уровня сложности, включая верификацию экстремальных сценариев и взаимодействие с пользователями прогнозной информации.

2.1.2. Широкое внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО)

Технологии ИИ и МО станут неотъемлемой частью прогнозной инфраструктуры и будут применяться по трём ключевым направлениям:

– пост-обработка и коррекция прогнозов. Использование нейросетевых и ансамблевых методов для статистической коррекции систематических ошибок гидрологических моделей на основе исторических данных и текущих наблюдений;

– усвоение гетерогенных данных. Разработка и внедрение гибридных алгоритмов усвоения данных, интегрирующих информацию из разнородных источников – от спутниковых снимков («Арктика-М», «Электро-Л», международные миссии) и метеорадаров до распределённых IoT-датчиков в речных бассейнах;

– прогнозирование краткосрочных явлений. Создание специализированных ИИ-моделей для прогнозирования опасных гидрологических явлений с заблаговременностью от 0 до 12 часов на основе анализа динамики осадков, уровня воды и других параметров в режиме реального времени. Подобные системы востребованы в условиях внезапных ливневых паводков и селевых потоков.

2.1.3. Создание Единой цифровой платформы гидрологических данных и прогнозов

Для обеспечения целостности, доступности и совместимости информации планируется разработка и внедрение Единой цифровой платформы гидрологических данных и прогнозов (ЕЦПГДП) [1]. Платформа будет функционировать как централизованный хаб, объединяющий архивные и оперативные данные наблюдений, выходы численных моделей, вероятностные прогнозы и верификационные метрики. Архитектура платформы предусматривает открытый API для интеграции с системами гражданской защиты, водного хозяйства, энергетики и транспорта, а также поддержку стандартов FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable). ЕЦПГДП станет основой для цифровых двойников водных объектов и обеспечит прозрачность, воспроизводимость и масштабируемость гидрологического прогнозирования на всей территории Российской Федерации.

Реализация данного стратегического направления позволит не только повысить техническую и методологическую зрелость отрасли, но и обеспечить переход к проактивной, а не реактивной модели управления гидрологическими рисками.

2.2. Направление: «Переход к вероятностной парадигме прогнозирования»

Рост нестационарности гидрологических процессов в условиях климатических изменений требует фундаментального сдвига от традиционной детерминированной парадигмы прогнозирования к вероятностной. Такой подход позволяет не только оценивать наиболее вероятный сценарий развития гидрологической ситуации, но и количественно характеризовать степень неопределённости, связанной с метеорологическими входными данными, параметризацией моделей и внутренней изменчивостью водосборов. Переход к вероятностной парадигме является стратегически необходимым шагом для повышения устойчивости принятия решений в условиях риска и неопределённости.

2.2.1. Массовое внедрение ансамблевых методов для всех видов прогнозов (от краткосрочных до сезонных)

Планируется системное внедрение ансамблевого прогнозирования на всех временных горизонтах – от краткосрочного (0–72 ч) до сезонного (месяцы вперёд). Ансамблевый подход обеспечит формирование распределений возможных исходов (например, уровня воды, объёма стока), что важно для оценки вероятности превышения пороговых значений и своевременного запуска превентивных мер.

2.2.2. Разработка и внедрение методик интервального прогнозирования с оценкой неопределённости

В рамках вероятностной парадигмы будет реализована стандартизированная методология интервального прогнозирования, включающая квантильные оценки (например, 10-й, 50-й и 90-й перцентили) и доверительные интервалы для ключевых гидрологических переменных [1, 8]. Особое внимание будет уделено калибровке вероятностных прогнозов с использованием методов статистической постобработки (например, Bayesian Model Averaging, Nonhomogeneous Gaussian Regression), что

повысит их надёжность и согласованность с наблюдаемой частотой событий. Результаты прогнозов будут сопровождаться метриками неопределённости (например, ширина интервала, энтропия распределения), позволяющими пользователям адекватно интерпретировать уровень риска.

2.2.3. Развитие сервисов на основе вероятностных прогнозов для конкретных потребителей

Для обеспечения практической применимости вероятностной информации будут разработаны и внедрены специализированные сервисы, ориентированные на потребности ключевых отраслей. Для МЧС России – это сервисы оценки вероятности затопления населённых пунктов и расчёта зон возможного затопления с учётом сценарного анализа. Для Министерства транспорта – прогнозы вероятности нарушения судоходства из-за низких уровней воды или ледовых заторов. Для энергетического сектора – вероятностные оценки притока воды в водохранилища ГЭС, необходимые для оптимизации режимов работы и участия в рынках электроэнергии. Все сервисы будут построены на принципах ориентированных на пользователя и обеспечивать визуализацию рисков в интуитивно понятной форме (например, карты зон затопления с вероятностями, временные профили риска, индикаторы готовности к действию).

Переход к вероятностной парадигме прогнозирования позволит трансформировать гидрологическую информацию из набора детерминированных значений в инструмент управления рисками, обеспечивая более гибкое, обоснованное и устойчивое принятие решений в условиях неопределённости, характерной для климата XXI века.

2.3. Направление: «Развитие наблюдательной сети и данных»

Повышение качества и надёжности гидрологического прогнозирования напрямую зависит от полноты, точности и оперативности исходной информации о состоянии гидросферы и атмосферы. В условиях роста технологической автономии и необходимости снижения зависимости от внешних источников данных стратегическим приоритетом до 2035 года становится комплексное развитие отечественной наблюдательной инфраструктуры и создание единой, многоуровневой системы мониторинга водных ресурсов. Данное направление предусматривает синергетическую интеграцию космических, наземных и мобильных средств наблюдения с акцентом на цифровую совместимость, пространственно-временную репрезентативность и физическую достоверность данных.

2.3.1. Развитие и полное использование отечественной спутниковой группировки

Планируется завершение формирования и обеспечение устойчивой эксплуатации отечественной спутниковой группировки в интересах гидрологии, включающей аппараты серий «Арктика-М» (для мониторинга Арктики и верхних бассейнов рек Сибири), «Электро-Л» (для получения геостационарных данных о влагосодержании атмосферы, температуре поверхности и динамике облачности) и «Метеор-М» (для полярно-орбитальных наблюдений за снежным покровом, ледовыми условиями и характеристиками поверхности). Особое внимание будет уделено обеспечению непрерывности наблюдений, повышению частоты обновления данных и расширению зон покрытия, включая труднодоступные регионы Дальнего Востока и Крайнего Севера.

2.3.2. Повышение точности отечественных спутниковых продуктов

Ключевым условием эффективного использования спутниковых данных является повышение их физической достоверности и пространственно-временного разрешения. В рамках данного направления будут реализованы программы калибровки и

валидации спутниковых продуктов на основе наземных эталонных измерений. Приоритетными задачами станут улучшение алгоритмов расчёта «спутникового ветра», повышение точности оценок снежного водного эквивалента (SWE), влагозапасов почвы и характеристик ледового покрова. Развитие отечественных методик обработки спутниковых данных позволит снизить погрешности входной информации для гидрологических моделей и повысить общую надёжность прогнозов.

2.3.3. Интеграция данных с беспилотных аппаратов, радаров и сети автоматических гидрологических постов

Для обеспечения высокой пространственной детализации и оперативности мониторинга будет развиваться гибридная система наблюдений, объединяющая стационарные и мобильные источники данных. Планируется значительное расширение сети автоматических гидрологических постов (АГП) с передачей данных в режиме реального времени, а также интеграция информации с метеорологических радаров и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), используемых для локального мониторинга паводков, ледовых заторов и русловых деформаций. Все данные будут унифицированы в рамках общей архитектуры Единой цифровой платформы гидрологических данных и прогнозов, что обеспечит их совместимость, доступность и возможность использования в оперативных моделях усвоения.

2.3.4. Создание национальной системы мониторинга русловых и устьевых процессов

Особое внимание будет уделено разработке и внедрению специализированной национальной системы мониторинга русловых и устьевых гидрологических процессов – одного из слабых звеньев существующей инфраструктуры. Система будет включать сеть донных и береговых датчиков, гидролокационные комплексы, аэрогеодезические съёмки и спутниковый мониторинг морфодинамики русел. Акцент будет сделан на крупных реках с высокой динамикой русловых изменений (например, Лена, Обь, Амур) и устьевых областях рек, где взаимодействие речного стока, приливов и ледовых условий требует комплексного подхода. Получаемые данные станут основой для уточнения параметров гидродинамических моделей и повышения точности прогнозов паводков и наводнений в прибрежных территориях.

Реализация данного направления обеспечит переход от фрагментарной и частично зависимой от внешних источников системы наблюдений к автономной, многоуровневой и цифрово-интегрированной инфраструктуре, способной поддерживать высокое качество гидрологического прогнозирования в условиях меняющегося климата и растущих требований к водной безопасности.

2.4. Направление: «Развитие модельного комплекса и научной базы»

Повышение прогностической способности гидрологической службы в условиях нестационарного климата требует фундаментального обновления модельного инструментария и укрепления научно-методической базы. Стратегическое направление «Развитие модельного комплекса и научной базы» нацелено на создание иерархической системы численных моделей, охватывающей все временные и пространственные масштабы – от краткосрочных оперативных прогнозов до сверхдолгосрочных климатических сценариев, а также на разработку специализированных моделей для решения узкоспециализированных, но критически важных задач.

2.4.1. Создание и внедрение высокодетальных (1-2 км) моделей («атмосфера-суша-река»)

В рамках данного направления планируется разработка и оперативное внедрение связанных моделей, интегрирующих процессы в атмосфере, на поверхности суши и в речной сети с пространственным разрешением 1-2 км. Подобные модели позволят

учитывать обратные связи между метеорологическими условиями и гидрологическим откликом водосбора, что необходимо при прогнозировании экстремальных осадков, ливневых паводков и сложных гидрометеорологических ситуаций. Использование единой физической основы и сквозного обмена данными между компонентами модели (например, между мезомасштабной моделью ICON-RU и гидрологической моделью ECOMAG или ПЛАВ) повысит согласованность прогнозов и снизит накопление ошибок при последовательной передаче данных между отдельными системами.

2.4.2. Активное развитие и использование моделей земной системы (INM-CM) для сверхдолгосрочных и климатических прогнозов

Для обеспечения стратегического планирования в водном хозяйстве, энергетике и сельском хозяйстве будет расширено применение моделей земной системы, разрабатываемых в Институте вычислительной математики РАН (INM-CM5, INM-CM6). Эти модели, описывающие взаимодействие атмосферы, океана, криосферы, биосферы и гидросферы, станут основой для формирования сценариев изменения стока, частоты засух и паводков на десятилетних и межсезонных горизонтах. Особое внимание будет уделено адаптации глобальных выходов INM-CM к региональным условиям с использованием методов динамического и статистического даунскейлинга, а также интеграции с гидрологическими моделями для оценки воздействия климатических изменений на водные ресурсы России.

2.4.3. Разработка и верификация специализированных моделей для прогнозирования опасных гидрологических явлений

Учитывая высокую социально-экономическую значимость локальных и специфических процессов, будет реализована программа создания и оперативного внедрения узкоспециализированных моделей:

- модели русловых деформаций и размывов берегов. На основе гидродинамических и морфодинамических подходов (например, с использованием моделей типа TELEMAC, Delft3D или отечественных аналогов) будут разработаны инструменты для прогнозирования эрозии берегов, миграции русел и формирования заторов. Это особенно актуально для рек с высокой динамикой русловых процессов (Лена, Амур, Волга);

- модели опасных явлений в устьевых областях. Будут созданы связанные «река–устьевая область–море» модели для прогнозирования сгонно-нагонных явлений, затоплений при совпадении паводка и прилива, а также проникновения солёных вод в пресноводные устьевые области – критически важного фактора для водоснабжения и экосистем прибрежных регионов;

- модели ледовых явлений. Планируется развитие комплексных моделей ледообразования, движения ледяных полей и формирования заторов с учётом метеорологических условий, гидравлических характеристик и русловой морфологии для заблаговременного предупреждения ледовых заторов и затоплений в весенний период, особенно в Сибири и на севере европейской части России.

Все новые модели будут проходить многоэтапную верификацию на исторических и оперативных данных с использованием современных метрик качества (включая вероятностные и пространственные индикаторы), а также тестироваться в рамках пилотных проектов в сотрудничестве с региональными управлениями Росгидромета и заинтересованными ведомствами.

Развитие модельного комплекса и научной базы обеспечит переход к физически целостному, масштабируемому и адаптивному прогнозированию, способному отвечать вызовам как оперативного реагирования, так и долгосрочного планирования в условиях глубоких климатических и гидрологических трансформаций.

2.5. Направление: «Расширение объектов и сервисов прогнозирования»

Современные социально-экономические и геополитические приоритеты Российской Федерации, включая освоение Арктики, развитие внутреннего водного транспорта и устойчивое функционирование прибрежной инфраструктуры, требуют существенного расширения географии и тематики гидрологического прогнозирования. Традиционная система, ориентированная преимущественно на прогнозы уровня воды и паводков в среднем течении крупных рек, становится недостаточной для обеспечения комплексной водной безопасности и поддержки отраслевых решений. В этой связи стратегическое направление «Расширение объектов и сервисов прогнозирования» нацелено на тиражирование передовых методов на новые территории и сектора экономики, а также на создание специализированных, пользователь-ориентированных прогнозных продуктов.

2.5.1. Развитие системы прогнозов для Арктической зоны РФ

Арктическая зона Российской Федерации характеризуется уникальными гидрологическими условиями: коротким периодом стока, высокой чувствительностью к температурным аномалиям, сложной динамикой ледовых явлений и значительной ролью мерзлоты в формировании стока. В настоящее время система гидрологического мониторинга и прогнозирования в этом регионе остаётся фрагментарной. В рамках данного направления планируется создание специализированной подсистемы прогнозирования, включающей:

- адаптированные к криоландшафтам гидрологические модели с учётом процессов таяния снега и льда, термокарста и сезонного промерзания/оттаивания почв;

- прогнозы ледовых условий на реках и прибрежных акваториях с заблаговременностью до 10 суток;

- оценки рисков затопления посёлков и инфраструктурных объектов в период весеннего половодья и летне-осенних паводков.

Особое внимание будет уделено интеграции данных спутников «Арктика-М», наземных наблюдений и моделей земной системы для обеспечения надёжности прогнозов в условиях экстремальной нестационарности климата Арктики.

2.5.2. Создание системы оперативного прогнозирования гидрологической обстановки в устьевых областях всех крупных рек

Устьевые области рек (включая дельты Волги, Лены, Оби, Енисея, Амура и др.) представляют собой сложные гидродинамические системы, где взаимодействуют речной сток, приливно-отливные колебания, ветровые нагоны и ледовые процессы. В настоящее время прогнозирование в этих зонах осуществляется фрагментарно и без учёта морских факторов. Планируется разработка и внедрение единой системы оперативного прогнозирования гидрологической обстановки в устьях, основанной на связанных моделях «река–устьевая область–море». Система будет обеспечивать:

- прогнозы уровней воды с учётом совместного влияния речного стока и морских условий;

- оценку рисков сгонов и нагонов, ведущих к затоплениям или обмелению;

- мониторинг и прогноз проникновения солёных вод в пресноводные участки, что критично для водоснабжения и экосистем.

Реализация данного компонента позволит повысить безопасность населения и инфраструктуры в прибрежных районах.

2.5.3. Развитие сервисов для судоходства, водного транспорта и портовой инфраструктуры

Водные пути России играют ключевую роль в транспортной системе страны, особенно в удалённых регионах. Для поддержки устойчивого функционирования внутреннего водного транспорта и портовой инфраструктуры будут разработаны и внедрены специализированные гидрологические сервисы, включающие:

- прогнозы глубин и уровней воды на судоходных участках с заблаговременностью до 10 суток;
- оценки условий ледохода и ледостава для планирования навигационного периода;
- вероятностные прогнозы рисков обмеления, заторов и штормовых подъёмов в портовых акваториях;
- интерактивные карты гидрологической обстановки, интегрированные в системы управления флотом и логистикой.

Сервисы будут разрабатываться в тесном взаимодействии с Росморречфлотом, ФГУП «Росморпорт» и операторами водного транспорта, с учётом требований к точности, формату и времени доставки информации.

Расширение объектов и сервисов прогнозирования обеспечит переход от универсальных, усреднённых продуктов к дифференцированным, территориально и функционально специализированным решениям, отвечающим потребностям стратегически важных регионов и отраслей экономики.

2.6. Направление: «Интеграция и международное сотрудничество»

В условиях глобальной взаимосвязанности климатических и гидрологических процессов, а также роста трансграничных рисков, связанных с водными ресурсами, международное сотрудничество становится неотъемлемым элементом национальной стратегии развития гидрологического прогнозирования. Участие в глобальных и региональных инициативах позволяет не только обмениваться данными и передовыми практиками, но и укреплять технологический суверенитет через совместную разработку стандартов, моделей и инфраструктур. Стратегическое направление «Интеграция и международное сотрудничество» нацелено на повышение роли Российской Федерации в мировой гидрометеорологической системе и укрепление её позиций как ведущего центра компетенций в Евразийском регионе.

2.6.1. Активное участие в глобальных системах (GMAS BMO) и инициативах (Early Warnings for All)

Россия будет расширять своё участие в рамках Всемирной метеорологической организации (ВМО), в частности в реализации Глобальной мультисекторальной системы предупреждения об опасных явлениях (Global Multi-hazard Alert System, GMAS) и инициативы «Early Warnings for All» (EW4All), включая:

- обеспечение оперативной передачи национальных гидрологических данных в глобальные центры сбора и распространения информации (GISC);
- адаптацию национальной системы предупреждения к международным стандартам форматов и протоколов (например, CAP – Common Alerting Protocol);
- участие в разработке и тестировании глобальных ансамблевых прогнозов и вероятностных продуктов, ориентированных на поддержку уязвимых стран.

2.6.2. Развитие двустороннего и многостороннего обмена данными и методиками, особенно со странами СНГ

Учитывая общность трансграничных речных бассейнов (Амударья, Сырдарья, Урал, Дон, Западная Двина и др.), особое значение придаётся укреплению сотрудничества с государствами Содружества Независимых Государств. Планируется:

- создание совместных цифровых платформ для обмена гидрологическими и метеорологическими данными в режиме реального времени;

- гармонизация методик прогнозирования и критериев опасных гидрологических явлений;
- проведение совместных учений по реагированию на паводки и засухи;
- развитие программ подготовки и повышения квалификации специалистов на базе российских учебных и научных центров.

2.6.3. Позиционирование России как регионального центра компетенций в области гидрологического прогнозирования

На основе накопленного опыта, научного потенциала и уникальных природных условий (арктические территории, крупнейшие речные системы, зоны многолетней мерзлоты) Россия будет развивать статус регионального центра компетенций по гидрологическому прогнозированию в рамках ВМО и других международных структур [5-8], что предполагает:

- учреждение специализированного центра передового опыта по гидрологии в составе Росгидромета или при ведущих научных организациях (например, ГГИ, ААНИИ или ИВП РАН);
- проведение международных конференций, школ и семинаров по современным методам прогнозирования;
- оказание технической помощи и консультационной поддержки странам Евразии в модернизации их гидрологических служб.

Такая роль не только укрепит научно-техническое влияние России, но и создаст условия для привлечения международных ресурсов и совместных исследований, направленных на решение общих климатических и гидрологических вызовов.

Соответственно, интеграция в международное гидрометеорологическое сообщество и развитие регионального лидерства станут важными факторами повышения эффективности, устойчивости и глобальной конкурентоспособности российской системы гидрологического прогнозирования в долгосрочной перспективе до 2035 года.

3. Механизмы реализации и целевые показатели

Для обеспечения последовательного и эффективного достижения стратегических целей развития гидрологического прогнозирования в Российской Федерации до 2035 года предусмотрены чёткие этапы реализации, а также система измеримых целевых показателей, отражающих как технологический прогресс, так и операционную эффективность системы.

3.1. Этапы реализации

Реализация стратегии будет осуществляться в два этапа (рис. 3), обеспечивающих поэтапный переход от научно-технической разработки к полномасштабному внедрению в оперативную практику.



Рис. 3. Этапы реализации стратегии развития гидрологического прогнозирования до 2035 года (рисунок автора)

– I этап (2025-2030 гг.) – формирование технологического задела и пилотное внедрение.

На данном этапе будет завершена разработка ключевых компонентов новой прогнозной системы: Единой цифровой платформы гидрологических данных, вероятностных и связанных моделей, специализированных сервисов для Арктики и устьевых областей рек. Планируется развертывание пилотных проектов в приоритетных регионах (например, бассейны рек Волги, Лены, Амура), включая тестирование автоматизированных ГИС-платформ, ансамблевого прогнозирования и интеграции данных с беспилотных систем. Одновременно будет проведена модернизация части наблюдательной сети и начато обучение кадров по новым методикам.

– II этап (2031-2035 гг.) – масштабирование и интеграция в оперативную практику.

На этом этапе произойдет полномасштабное внедрение разработанных решений во все территориальные органы Росгидромета и заинтересованные ведомства. Будет завершено формирование национальной системы мониторинга русловых и устьевых процессов, обеспечена полная интеграция метеорологических и гидрологических моделей, а также завершено импортозамещение критически важных компонентов.

3.2. Целевые показатели к 2035 году

Для объективной оценки результативности реализации стратегии определен набор количественных целевых показателей, согласованных с национальными приоритетами в области климатической устойчивости, цифровой трансформации и технологического суверенитета:

– доля вероятностных прогнозов в общем объеме гидрологических прогнозов – не менее 80 %, что обеспечит переход к управлению рисками на основе количественной оценки неопределенности;

– заблаговременность долгосрочных (сезонных) прогнозов – увеличение до 3-6 месяцев, что позволит эффективно планировать режимы работы водохранилищ, сельскохозяйственные и противоаварийные мероприятия;

– снижение средней рабочей нагрузки на одного прогнозиста – на 30 % за счет автоматизации рутинных операций, внедрения ИИ-ассистентов и цифровых платформ поддержки принятия решений;

– оправдываемость предупреждений об опасных гидрологических явлениях (ОЯ) – повышение до 98 %, что соответствует лучшим мировым практикам и значительно усилит доверие со стороны органов власти и населения;

– полное импортозамещение критических технологий и данных, включая программное обеспечение, спутниковые продукты, сенсоры и компоненты наблюдательной инфраструктуры, что обеспечит технологическую независимость и устойчивость системы в условиях внешних ограничений.

Достижение указанных показателей будет обеспечиваться через государственные программы, научно-технические проекты, межведомственное взаимодействие и международное сотрудничество, а также через создание благоприятных условий для привлечения молодых специалистов и постоянного обновления кадрового потенциала.

Заключение

Реализация предложенной стратегии развития гидрологического прогнозирования до 2035 года позволит создать современную, технологически автономную систему, ориентированную на конкретные потребности воднотранспортного комплекса России. Цифровая трансформация, переход к вероятностным прогнозам и интеллектуализация сервисов обеспечат качественно новый уровень

гидрометеорологического обеспечения судоходства и приведет к повышению точности и заблаговременности прогнозов ледовой обстановки, волнения, уровней воды и течений на ключевых морских путях и внутренних водных артериях.

Внедрение стратегии повлияет на повышение безопасности мореплавания, сокращение аварийности и непроизводительных простоев флота. Создание специализированных прогностических продуктов для акваторий портов и систем поддержки принятия решений для капитанов и судоводителей позволит оптимизировать логистику, минимизировать риски повреждения судов и портовой инфраструктуры и, как следствие, снизить эксплуатационные издержки отрасли.

Ключевыми факторами успешной реализации стратегии применительно к транспортной сфере являются:

– эффективная межведомственная интеграция, включая тесное взаимодействие Росгидромета с Минтрансом, Росморречфлотом, администрациями портов и судоходными компаниями для обеспечения адресности и практической ценности прогностической информации;

– целевое финансирование и инвестиции, выделение средств не только на модернизацию наблюдательной сети в целом, но и на развертывание специализированных измерительных комплексов в акваториях портов и на узловых участках внутренних водных путей;

– кадровое и научное обеспечение, в том числе подготовка специалистов, способных работать на стыке гидрологии и транспортной логистики, и ориентация научных исследований на разработку прикладных методик и моделей, непосредственно востребованных в оперативной работе транспортного комплекса.

Последовательная реализация предложенных направлений позволит не только устранить существующие технологические разрывы, но и вывести гидрометеорологическое обеспечение водного транспорта России на уровень, соответствующий современным задачам и потребностям устойчивого развития отрасли.

Список литературы

1. Презентации докладов, представленных на 8 всероссийском объединенном метеорологическом и гидрологическом съезде (октябрь 2024 г., Санкт-Петербург). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://фумо05.рф/о371-Meteorological_Hydrological_Congress.htm (дата обращения: 04.11.2025).
2. Волкова, Н. А. Комплексный подход к снижению аварийности на внутренних водных путях арктического региона России / Н. А. Волкова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2025. – Т. 22, № 3. – С. 761-775. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775.
3. Волкова, Н. А. Методика долгосрочного прогнозирования максимальных уровней воды на примере реки Пур / Н. А. Волкова, М. Н. Волков, К. В. Ромашова // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2025. – Т. 35, № 3. – С. 375-387. – DOI 10.35634/2412-9518-2025-35-3-375-387. – EDN FJXCDS.
4. Симонов, Ю. А. Оперативная гидрология в деятельности Всемирной метеорологической организации / Ю. А. Симонов // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2025. – № 2(396). – С. 121-140. – DOI 10.37162/2618-9631-2025-2-121-140. – EDN RDCSRC.
5. ВМО-№ 485. Наставление по Комплексной системе обработки и прогнозирования ВМО. Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО. Всемирная метеорологическая организация, 2023. 185 с.
6. ВМО-№ 1273. Атлас смертности и экономических потерь в результате экстремальных метеорологических, климатических и гидрологических явлений (1970-2019 гг.). Всемирная метеорологическая организация, 2021. 90 с.
7. ВМО-№ 1319. Перспективное видение, Стратегия и соответствующий План действий в области гидрологии и Стратегия гидрологических исследований ВМО. Всемирная метеорологическая организация, 2023. 67 с.

8. ВМО-№ 1381. В центре внимания инициатива «Заблаговременные предупреждения для всех»: мониторинг и прогнозирование опасных явлений. Всемирная метеорологическая организация, 2025. 91 с.
9. Dasgupta A. et al. Connecting hydrological modelling and forecasting from global to local scales: Perspectives from an international joint virtual workshop // *Journal of Flood Risk Management*. – 2025. – Т. 18. – №. 1. – С. e12880.
10. Jahangir M. S., Quilty J. Hierarchical deep learning for consistent multi-timescale hydrological forecasting // *Water Resources Research*. – 2025. – Т. 61. – №. 7. – С. e2024WR038105.
11. Li F. et al. Reanalysis and forecasting of total water storage and hydrological states by combining machine learning with CLM model simulations and GRACE data assimilation // *Water Resources Research*. – 2025. – Т. 61. – №. 2. – С. e2024WR037926.
12. Ougahi J. H., Rowan J. S. Enhanced streamflow forecasting using hybrid modelling integrating glacio-hydrological outputs, deep learning and wavelet transformation // *Scientific Reports*. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 2762.
13. Pechlivanidis I. G. et al. Enhancing research-to-operations in hydrological forecasting: innovations across scales and horizons // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2025. – Т. 106. – №. 5. – С. E894-E919.
14. Solanki H. et al. Improving streamflow prediction using multiple hydrological models and machine learning methods // *Water Resources Research*. – 2025. – Т. 61. – №. 1. – С. e2024WR038192.
15. Zhang J., Li W., Duan Q. Quantifying the contributions of hydrological pre-processor, post-processor, and data assimilator to ensemble streamflow prediction skill // *Journal of Hydrology*. – 2025. – Т. 651. – С. 132611.

References

1. Presentations of papers presented at the 8th All-Russian Joint Meteorological and Hydrological Congress (October 2024, St. Petersburg). Web. 4 Nov 2025 <https://fumo05.rf/o371-Meteorological_Hydrological_Congress.htm>.
2. Volkova, N. A. An integrated approach to reducing accidents on inland waterways of the Arctic region of Russia / N. A. Volkova // *Bulletin of the St. Petersburg University of Railway Engineering*. – 2025. – Vol. 22, No. 3. – Pp. 761-775. – DOI 10.20295/1815-588X-2025-3-761-775.
3. Volkova, N. A. Methodology for long-term forecasting of maximum water levels using the Pur River as an example / N. A. Volkova, M. N. Volkov, K. V. Romashova // *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. - 2025. - Vol. 35, No. 3. - P. 375-387. - DOI 10.35634/2412-9518-2025-35-3-375-387. - EDN FJXCDS.
4. Simonov, Yu. A. Operational hydrology in the activities of the World Meteorological Organization / Yu. A. Simonov // *Hydrometeorological research and forecasts*. - 2025. - No. 2 (396). - P. 121-140. – DOI 10.37162/2618-9631-2025-2-121-140. – EDN RDCSRC.
5. WMO-No. 485. Manual on the WMO Integrated Processing and Forecasting System. Annex IV to the WMO Technical Regulations. World Meteorological Organization, 2023. 185 p.
6. WMO-No. 1273. Atlas of Mortality and Economic Losses due to Extreme Weather, Climate and Hydrological Events (1970–2019). World Meteorological Organization, 2021. 90 p.
7. WMO-No. 1319. WMO Vision, Strategy and Associated Action Plan for Hydrology and Strategy for Hydrological Research. World Meteorological Organization, 2023. 67 p.
8. WMO-No. 1381. Spotlight on the Early Warning for All Initiative: Hazard Monitoring and Forecasting. World Meteorological Organization, 2025. 91 p.
9. Dasgupta A. et al. Connecting hydrological modelling and forecasting from global to local scales: Perspectives from an international joint virtual workshop // *Journal of Flood Risk Management*. - 2025. - Vol. 18. - No. 1. - P. e12880.
10. Jahangir M. S., Quilty J. Hierarchical deep learning for consistent multi-timescale hydrological forecasting // *Water Resources Research*. - 2025. - Vol. 61. - No. 7. – P. e2024WR038105.
11. Li F. et al. Reanalysis and forecasting of total water storage and hydrological states by combining machine learning with CLM model simulations and GRACE data assimilation // *Water Resources Research*. – 2025. – Т. 61. – No. 2. – P. e2024WR037926.

12. Ougahi J. H., Rowan J. S. Enhanced streamflow forecasting using hybrid modeling integrating glacio-hydrological outputs, deep learning and wavelet transformation // *Scientific Reports*. – 2025. – Т. 15. – No. 1. – P. 2762.
13. Pechlivanidis I. G. et al. Enhancing research-to-operations in hydrological forecasting: innovations across scales and horizons // *Bulletin of the American Meteorological Society*. – 2025. – Т. 106. – No. 5. – pp. E894-E919.
14. Solanki H. et al. Improving streamflow prediction using multiple hydrological models and machine learning methods // *Water Resources Research*. – 2025. – Т. 61. – No. 1. – P. e2024WR038192.
15. Zhang J., Li W., Duan Q. Quantifying the contributions of hydrological pre-processor, post-processor, and data assimilator to ensemble streamflow prediction skill // *Journal of Hydrology*. – 2025. – Т. 651. – P. 132611.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Волкова Надежда Александровна, к.ф.-м.н., доцент кафедры водно-технических изысканий, Российский государственный гидрометеорологический университет (ФГБОУ ВО «РГГМУ»), 192007, Россия, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79, старший научный сотрудник отдела гидрологии устьев рек и водных ресурсов, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (ФГБУ «АНИИ»), e-mail: navolkova@aari.ru

Nadezhda A. Volkova, PhD, Associate Professor, Department of Water Engineering Surveys, Russian State Hydrometeorological University (RSHU), 79 Voronezhskaya Street, St. Petersburg, 192007, Russia; Senior Researcher, Department of River Estuary Hydrology and Water Resources, Arctic and Antarctic Research Institute

Статья поступила в редакцию 05.11.2025; принята к публикации 16.12.2025; опубликована онлайн 20.03.2026. Received 05.11.2025; published online 20.03.2026.