

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО, ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ/HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101>

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АРКТИКЕ: СОСТОЯНИЕ, МЕТОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Обзор

Меримский А.А.^{1,*}, Помников Е.Е.², Беккер А.Т.³¹ORCID : 0009-0000-9178-1567;^{1, 2, 3} Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (merimskii.aa[at]dvfu.ru)

Аннотация

В статье рассматриваются современные подходы к изучению и прогнозированию гидрометеорологических процессов в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) как потенциальных источников получения исходных данных для проектирования гидротехнических сооружений. Анализируются ключевые проблемы традиционных методов инженерных изысканий, связанные с недостаточной разработанностью запросов проектировщиков в рамках получения исходных данных и в отсутствии описания применимости альтернативных источников информации. Особое внимание уделяется состоянию гидрометеорологической сети в Арктике, которое характеризуется сокращением пунктов наблюдений и неравномерностью охвата территории, что увеличивает важность использования альтернативных источников информации.

Обзор охватывает широкий спектр технологий и систем мониторинга: от спутниковых комплексов (PlanetaMultiSat, Copernicus, Роскосмос) до численных моделей (WAVEWATCH III, CMIP5). Рассматриваются возможности применения программных комплексов Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC), Федеральной службы по гидрометеорологии (Росгидромет) и других организаций. Подчеркивается значимость автоматизации процессов сбора и обработки данных для повышения точности прогнозов и упрощения назначения расчетных нагрузок.

В заключении делается вывод о необходимости развития автоматизированных систем прогнозирования и применения в области инженерных изысканий для проектирования гидротехнических сооружений, и недопущении снижения количества в наблюдательной сети гидрометеорологических станций, особенно в труднодоступных районах Арктики. Интеграция данных из различных источников через платформы типа ЕСИМО представляется перспективным направлением для обеспечения качественных исходных данных при проектировании гидротехнических сооружений. Такой подход позволит повысить безопасность хозяйственной деятельности и оптимизировать экономические затраты при освоении арктических территорий.

Ключевые слова: гидрометеорологические параметры, Арктика, исходные данные.

MODERN APPROACHES TO THE STUDY AND FORECASTING OF HYDROMETEOROLOGICAL PROCESSES IN THE ARCTIC: STATE, METHODS AND PROSPECTS

Review article

Merimskii A.A.^{1,*}, Pomnikov Y.Y.², Bekker A.T.³¹ORCID : 0009-0000-9178-1567;^{1, 2, 3} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

* Corresponding author (merimskii.aa[at]dvfu.ru)

Abstract

The article examines modern approaches to the study and forecasting of hydrometeorological processes in the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF) as potential sources of obtaining baseline data for the design of hydraulic structures. The key problems of traditional methods of engineering surveys are analysed, related to insufficient development of designers' requests within the framework of obtaining initial data and in the absence of description of applicability of alternative sources of information. Particular attention is paid to the state of the hydrometeorological network in the Arctic, which is characterised by the reduction of observation points and unequal coverage of the territory, which increases the importance of using alternative sources of information.

The review covers a wide range of monitoring technologies and systems: from satellite complexes (PlanetaMultiSat, Copernicus, Roscosmos) to numerical models (WAVEWATCH III, CMIP5). The possibilities of application of software complexes of the Unified State Information System on the Situation in the World Ocean (ESIMO), National Snow and Ice Data Centre (NSIDC), Federal Service for Hydrometeorology (Roshydromet) and other organisations are reviewed. The importance of automating the data collection and processing to improve the accuracy of forecasts and simplify the assignment of design loads is emphasised.

The conclusion is made about the necessity to develop automated forecasting systems and applications in the field of engineering surveys for the design of hydraulic structures, and to prevent the reduction of the number of hydrometeorological stations in the observation network, especially in hard-to-reach areas of the Arctic. Integration of data from various sources through platforms such as Unified State System of Information on the Situation in the World Ocean seems to be a promising

direction to ensure quality baseline data for the design of hydraulic structures. This approach will make it possible to improve the safety of economic activity and optimise economic costs in the development of Arctic territories.

Keywords: hydrometeorological parameters, Arctic, baseline data.

Введение

Данная обзорная статья затрагивает аспект применения современных методов получения гидрометеорологической информации в качестве потенциального источника параметров окружающей среды в целях использования в отрасли проектирования гидротехнических сооружений в Арктическом регионе.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) является уникальным регионом с огромным экономическим потенциалом (рис. 1). В условиях глобального изменения климата и роста интереса к освоению природных ресурсов Арктики вопросы обеспечения безопасности морской деятельности, строительства гидротехнических сооружений и прогнозирования экстремальных явлений становятся особенно актуальными. Основной задачей современных исследований является разработка надежных методов прогнозирования параметров окружающей среды, которые позволят минимизировать риски и оптимизировать экономические затраты [3], [16], [17].

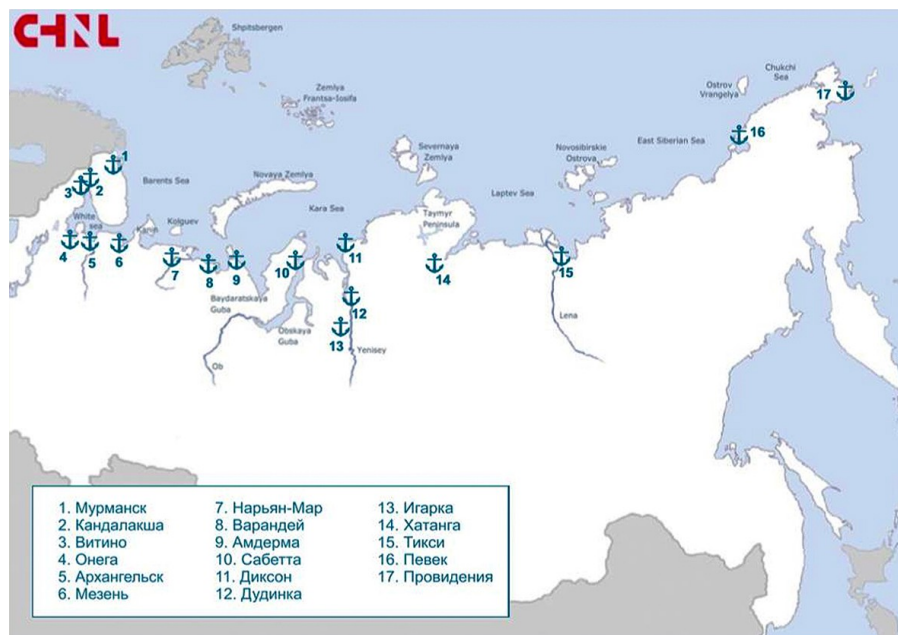


Рисунок 1 - Карта портов Арктической зоны РФ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.1>

Примечание: источник [3]

Цель данной статьи — проанализировать текущее состояние методов мониторинга и прогнозирования гидрометеорологических процессов в Арктике как потенциальных источников получения исходных данных для назначения расчетных значений нагрузки; рассмотреть перспективы развития. Особое внимание уделяется использованию данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), спутниковых наблюдений и численного моделирования для решения задач, связанных с ледовой обстановкой, ветровым волнением и другими факторами, влияющими на безопасность хозяйственной деятельности.

Отбор источников производился по критерию применимости современных технологий, разработанных в рамках государственных или частных инициатив, в рамках получения исходных данных гидрометеорологических параметров для прогнозной и мониторинговой деятельности. Временной интервал источников составлял порядка 5–10 лет.

Экономическое значение Арктики и роль гидрометеорологического обеспечения

Арктика играет ключевую роль в мировой экономике благодаря своему богатству природными ресурсами, включая углеводороды, минералы и биоресурсы. Кроме того, Северный морской путь (СМП) рассматривается как важнейший транзитный маршрут, соединяющий Европу и Азию. Немаловажным фактором остаётся наличие крупных месторождений нефти и газа в Арктическом регионе (рис. 2, 3) [6].

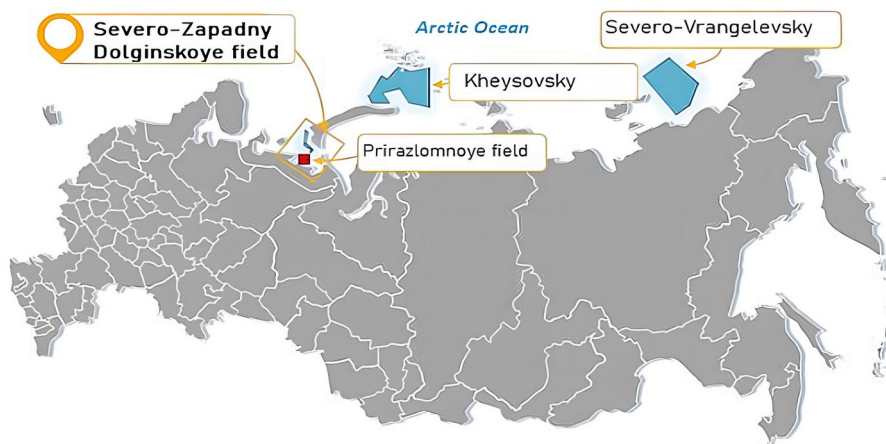


Рисунок 2 - Лицензии на арктический шельф принадлежат «Газпром нефти»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.2>

Примечание: источник «Газпром нефть», в редакции автора



Рисунок 3 - Лицензии на арктический шельф, принадлежащие «Роснефти»
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.3>

Примечание: источник [6]

Однако освоение данного региона сопряжено с рядом сложностей, связанных с экстремальными климатическими условиями, наличием ледового покрова и высокой изменчивостью гидрометеорологических параметров.

Гидрометеорологическое обеспечение является неотъемлемой частью успешного функционирования судоходства, нефтегазодобычи и строительства инфраструктуры в Арктике, включающим сбор, анализ и прогнозирование данных о состоянии атмосферы, океана и ледового покрова. Такие данные необходимы для принятия решений в реальном времени, а также для долгосрочного планирования проектов.

Таким образом, Арктическая зона Российской Федерации обладает значительным потенциалом для экономического роста и укрепления позиций России на мировом рынке энергоресурсов и транзитных перевозок. Однако реализация этого потенциала требует комплексного подхода, включающего развитие инфраструктуры, внедрение инновационных технологий и обеспечение безопасности.

Запрос проектирования в нормативной документации

Для реализации проектирования инфраструктурных объектов, в большей степени гидротехнической направленности (порты, морские платформы, оградительные сооружения и др.) необходимо большое количество информации, в частности гидрометеорологической. Такая информация архивируется и первично обрабатывается на постах гидрометеорологической сети, либо традиционным образом производятся инженерные изыскания для выявления необходимых параметров. Описанный подход на протяжении долгого времени осуществлял заданные функции, но не лишен недостатков и проблем.

Одной из ключевых проблем в современной практике инженерных изысканий и нормативной документации является отсутствие четко сформулированных запросов проектировщиков на исходные данные в нормативной документации. Например, в действующих стандартах [18] основное внимание уделяется методам проведения изысканий, но не формулируются конкретные требования к объему и характеру данных, необходимых для проектирования гидротехнических сооружений (ГТС). Это создает ситуацию, при которой:

- Проектировщики не всегда могут четко определить, важность предоставленной информации о параметрах окружающей среды необходимых для расчетов нагрузок, воздействий и других факторов, ввиду необработываемых данных и неподходящих форм предоставленных данных;
- Изыскатели предоставляют данные, которые могут быть избыточными или, напротив, недостаточными для решения поставленных задач;
- Отсутствие стандартизированных запросов приводит к разрыву между этапами изысканий и проектирования, что снижает эффективность всего процесса.

Другой значимой проблемой является несформулированность в нормативной документации информации о ранжировании параметров окружающей среды заданных обеспеченностей согласно классам гидротехнических сооружений. Классификация ГТС по уровням ответственности (I, II, III классы) предполагает различный подход к оценке рисков и нагрузок. Уточнённые значения того или иного параметра возможно получить путем статистической обработки повторяемости максимально возможного опасного явления при условии долгих и постоянных наблюдений. Такая информация не описана в нормативной документации по проектированию гидротехнических сооружений.

Методы мониторинга и прогнозирования ледовой обстановки

В настоящее время как было описано ранее получение исходных данных происходит традиционно с помощью использования наблюдений на постах гидрометеорологической сети и инженерных изысканий. Необходимо отметить состояние гидрометеорологической сети в Арктическом регионе РФ (рис. 4, 5).

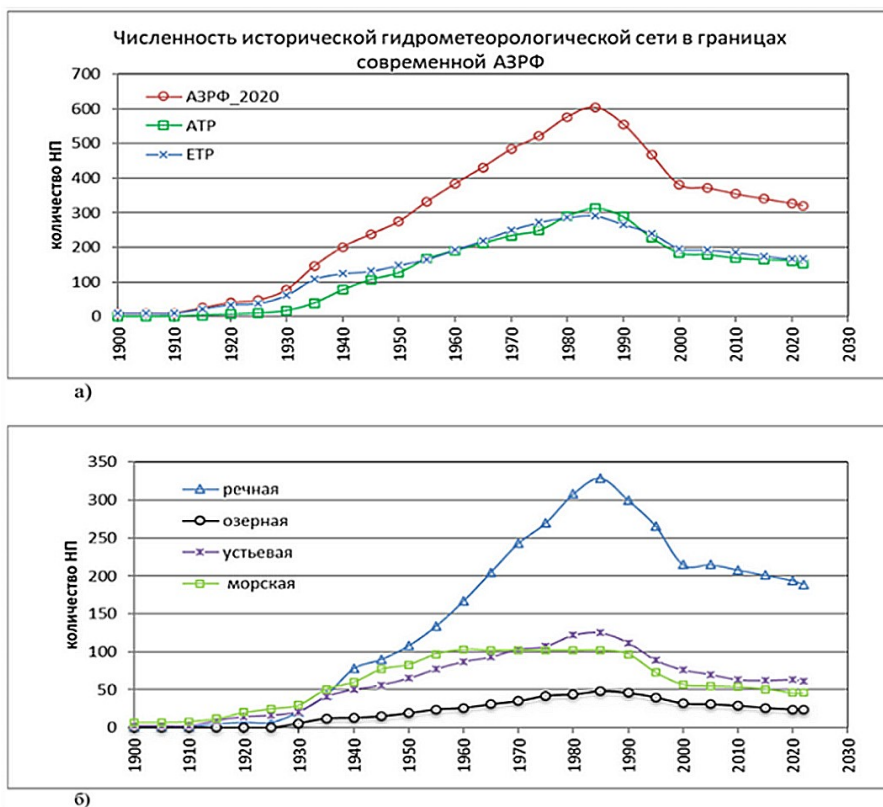


Рисунок 4 - Динамика численности исторической и действующей в настоящее время гидрометеорологической сети, расположенной в Арктической зоне РФ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.4>

Примечание: а) гидрометеорологическая сеть в европейской, азиатской частях и в АЗРФ в целом; б) гидрометеорологическая сеть по видам наблюдений.

Источник [10]

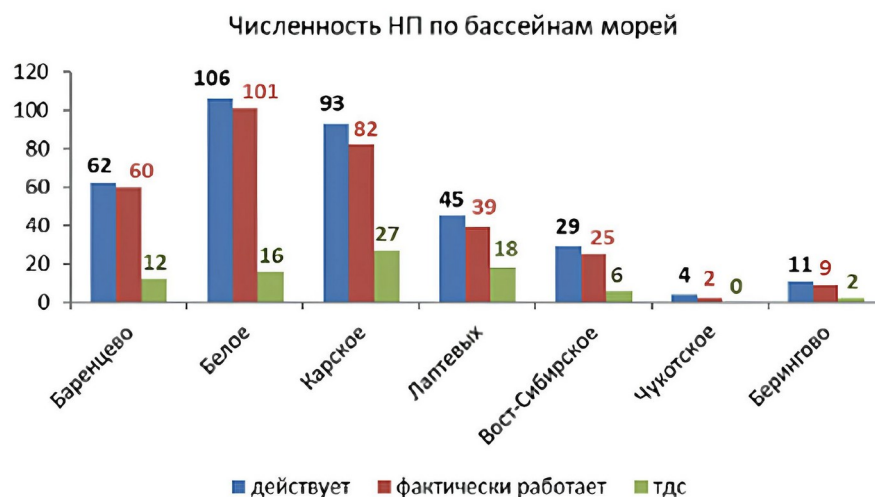


Рисунок 5 - Количественный состав гидрометеорологической сети в 2022 г по бассейнам морей, водосборы или части которых расположены в АЗРФ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.5>

Примечание: источник [10]

Объём и качество производимых наблюдений на гидрологической сети Арктической зоны РФ в 2022 году нельзя принять удовлетворительным и соответствующим современным требованиям экономики столь важного и сложного макрорегиона России. Качество и полнота наблюдений продолжает характеризоваться крайней неравномерностью и по территории АЗРФ, и по зонам ответственности управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). Несмотря на значительные усилия сотрудников территориальных управлений практически во всех УГМС имеются НП, на которых наблюдения не проводились или проводились с отступлением от действующих планов и программ работ: из 274 постов гидрологической и устьевой сети, работавших в 2022 г., такая ситуация складывалась на 62 НП, что составляет 23% работающей сети [10].

Несмотря на то что, согласно работе [13], информационная значимость таких НП в АЗ РФ существенно выше, чем в других регионах РФ, что свидетельствует о климатообразующем влиянии процессов, протекающих в Арктике, на формировании климата России — количество НП сокращается и не комплектуется. Основная морская (береговая) наблюдательная сеть АЗ РФ представлена в перечне НП, не подлежащих закрытию и сокращению объемов и программ метеорологических наблюдений согласно приказу Росгидромета. Реорганизации и сокращению могут быть подвергнута только дополнительная наблюдательная сеть. В соответствии с [15] должное внимание уделяется состоянию, организации и проведению наблюдений на труднодоступных станциях, составляющих более 30% от общего числа НП.

Таким образом, предлагается использовать новые подходы в целях применения уже накопленной и архивируемой информации с помощью новых подходов и технологий, которые на данный момент выполняют функцию прогнозную и наблюдательную за состоянием окружающей среды.

4.1. Ледовые карты и роль в прогнозировании

Ледовые карты являются основным инструментом для мониторинга состояния морского льда, создающиеся на основе данных спутникового дистанционного зондирования, наземных наблюдений и экспертных оценок. Важным источником информации служат данные Национального ледового центра США (НЛЦ), а также продукты программ Copernicus и Роскосмоса. Современные технологии позволяют создавать ледовые карты с высоким пространственным разрешением, что значительно повышает точность прогнозов.

Ниже представлена первая работа, описывающая применение разработанного многофункционального комплекса в целях построения ледовых карт [1].

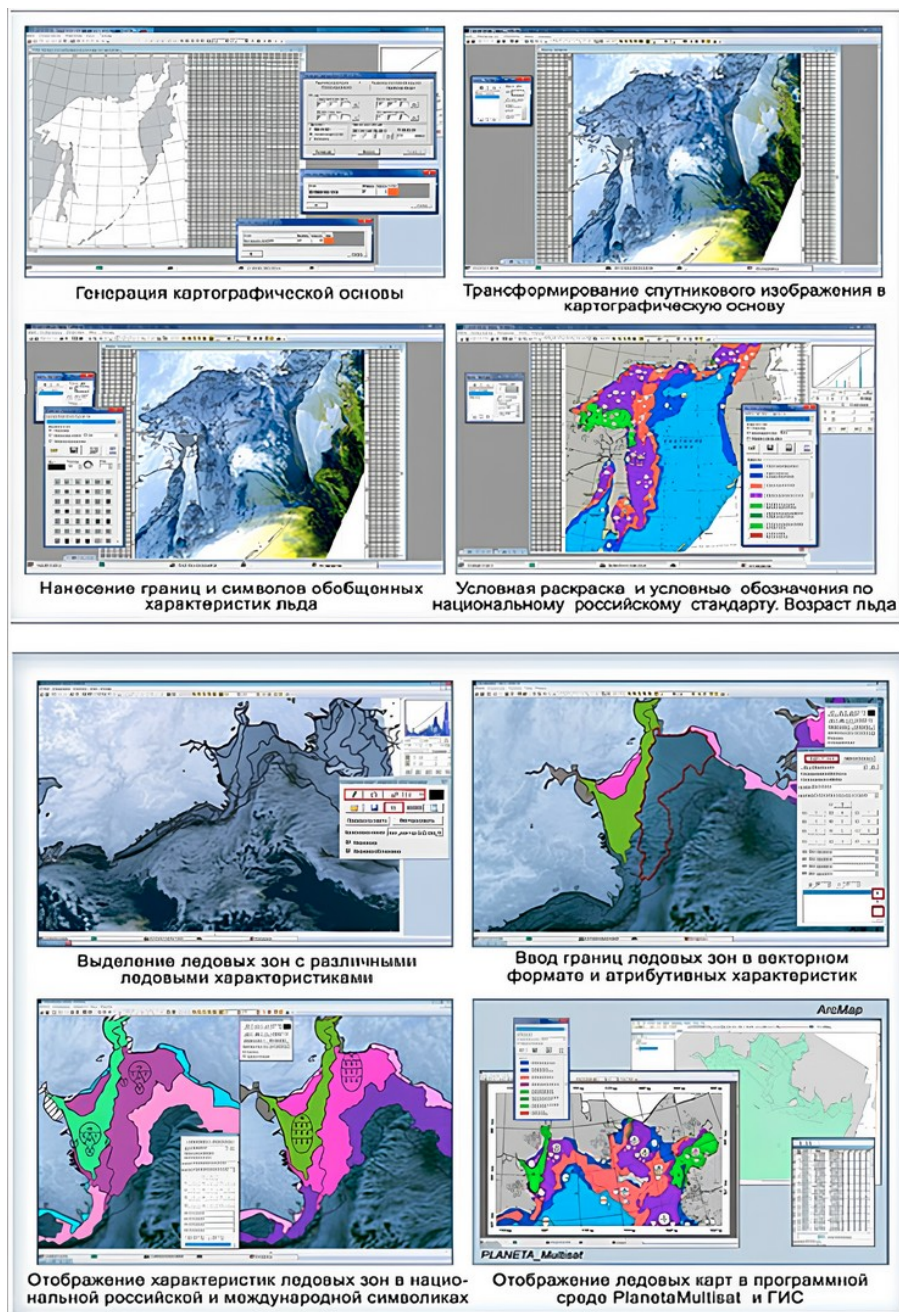


Рисунок 6 - Основные этапы технологии построения ледовых карт в графическом формате многофункциональном ПК «PlanetaMultiSat»

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.6>

Примечание: источник [1]

Созданная технология позволила, наряду со спутниковыми данными малого и среднего пространственного разрешения, использовать в оперативном режиме космические изображения высокого разрешения для выявления на них опасных ледовых явлений (торосы, гряды торосов, стамухи, мелкие и крупные айсберги) и подготовки детализированных ледовых карт, в том числе в векторном формате.

В настоящее время для мониторинга ледовой обстановки в НИЦ «Планета» преимущественно используется информация видимого и инфракрасного диапазонов с полярно-орбитальных российских КА Метеор-М No2, 2-2 Канопус-В No3, 4, 5, 6, Канопус-В-ИК и зарубежных КА NOAA-18, 19, 20, Metop-A, B, Suomi NPP, спутников серии EOS (Aqua, Terra) [1].

Ледовые карты являются результатом комплексирования спутниковых данных разного рода спектральных диапазонов, пространственного разрешения, а также привлечения наземных измерений ледовых параметров, экспертных мнений (рис. 6).

Данная информационная продукция передается в территориальные органы Росгидромета, Минобороны России (ГМС ВС РФ и др.), МЧС России (НЦУКС и др.). Ледовые карты также размещаются в Мировом центре данных по

морскому льду наряду с ледовой продукцией различных национальных ледовых служб и ведущих спутниковых центров мира.

Другая статья [7] обзорекает проблемы разработки месторождения "Shtokman" в свете текущей экономической ситуации. При освоении нефтегазовых месторождений на российском шельфе, включая Штокмановское месторождение в Баренцевом море, рассматривается использование технологических судов в качестве эффективной концепции обустройства. В рамках реконструкции траекторий дрейфа льда из северных районов Баренцева моря применяются два подхода: использование данных дрейфующих буйев и анализ архивов данных космической информации. Для реконструкции ледового дрейфа используются данные буйев, а также изображения пассивные микроволновые (ПМ) и активные (с помощью радаров с синтезированной апертурой, SAR), с различным разрешением и методами координатной привязки (рис. 7).

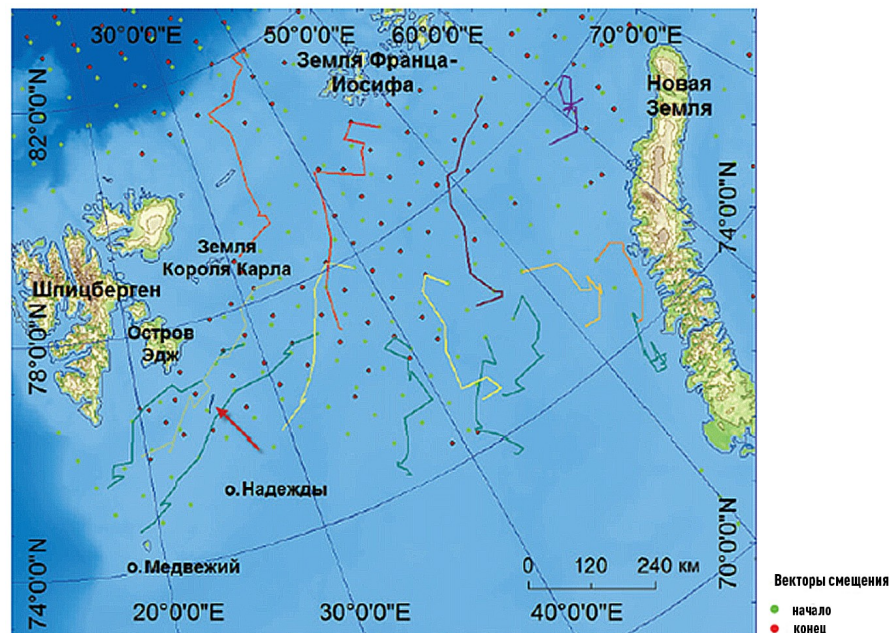


Рисунок 7 - Траектории дрейфа с 1 февраля по 5 мая 2003 г. на фоне векторных точек 1-7 февраля
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.7>

Примечание: источник [7]

Однако, для северной и центральной частей Баренцева моря, где информация о дрейфе льда необходима для судовых маршрутов — наблюдается отсутствие данных. Авторы статьи подчеркивают важность наличия полярных данных для более точного понимания динамики морского льда. Недостатком метода является невозможность отследить дрейф льда по перемещению буя, только качественно, сравнивая ледовые карты и траектории буйев.

Таким образом, наиболее приемлемым методом для определения скорости дрейфа льда стал — отслеживание льда по спутниковым снимкам. В мире существуют несколько организаций, фиксирующих дрейф льда с помощью спутниковых снимков. В базах данных представлены в виде наблюдаемых векторов дрейфа льда по определённой дате и промежутка времени (6 дней), в виде растровых карт и файлов ASCII с векторными координатами. Результаты получают с помощью автоматического анализа карт по смещению ледовых полей [7].

Опасные явления, такие как торосы, стамухи и айсберги, представляют серьезную угрозу для морских операций. В целях выявления опасных явлений в том числе используется многофункциональный программный комплекс «PlanetaMultiSat», разработанный в ФГБУ «НИЦ «Планета». Данный комплекс позволяет обрабатывать данные различного разрешения и формировать детализированные прогнозы [12], [14].

4.2. Численное моделирование дрейфа льда

Помимо использования использования данных дрейфующих буйев и анализ архивов данных космической информации применяются численные модели.

Одним из перспективных направлений является использование численных моделей для прогнозирования дрейфа льда. Например, в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ) разработана модель, учитывающая влияние ветра, океанских течений и других факторов на движение льда. Модель позволяет прогнозировать экстремальные скорости дрейфа, что особенно важно для обеспечения безопасности судоходства [2]. Также для длительного прогностического результата разработан программный модуль PrognoszSP_Ellips, осуществляющий расчет прогностического результирующего перемещения льда в Арктическом бассейне по данным каждого года-аналога, отобранного на предыдущем этапе, и вычисляет вектор направления [4]. Результаты прогнозов показали сравнительно высокую оправдываемость. Метод характеризуется положительной эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

Исследование ветрового волнения

Необходимость определения ветрового волнения в Арктике сложно недооценить. В последние годы площади льдов в Арктике имеют тенденцию к уменьшению, длительность безледного периода наоборот увеличивается. Таким образом, исследование ветрового волнения в указанных морях является актуальной задачей. Математическое моделирование волнения на основе данных о ветре и сплоченности льда из реанализов сейчас является практически единственным методом, позволяющим изучать климатические особенности волнения за последние 30–40 лет в этих морях.

В данной работе [8] представлены результаты расчетов ветрового волнения за период с 1979 по 2019 год в море Лаптевых, Чукотском и Восточно-Сибирском морях. В результате исследованы режимные и экстремальные характеристики ветрового волнения, а также сделана оценка качества моделирования.

Ветровое волнение является важным фактором, влияющим на безопасность морских сооружений и судоходства. Для прогнозирования такого рода параметров используется спектральная волновая модель WAVEWATCH III, учитывающая нелинейные взаимодействия трех волн, характерные для закрытых и мелководных акваторий, эффекты обрушения и дифракции волн на малых глубинах, а также влияние морского льда. Результаты моделирования показывают высокую корреляцию с натурными наблюдениями, что подтверждает достоверность прогнозирования (рис. 8).

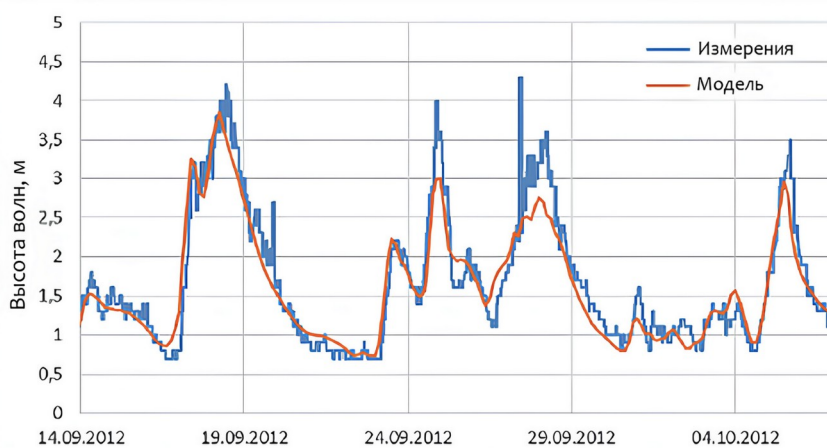


Рисунок 8 - Сравнение высоты значительных волн по данным измерений с результатами моделирования
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.8>

Примечание: источник [8]

Исследования показывают, что максимальные высоты волн в арктических морях могут достигать 7–8 метров, требующие особого внимания при проектировании гидротехнических сооружений и планировании морских операций. Особую опасность представляют штормовые волны, возникающие в результате продолжительного воздействия сильных ветров (рис. 9).

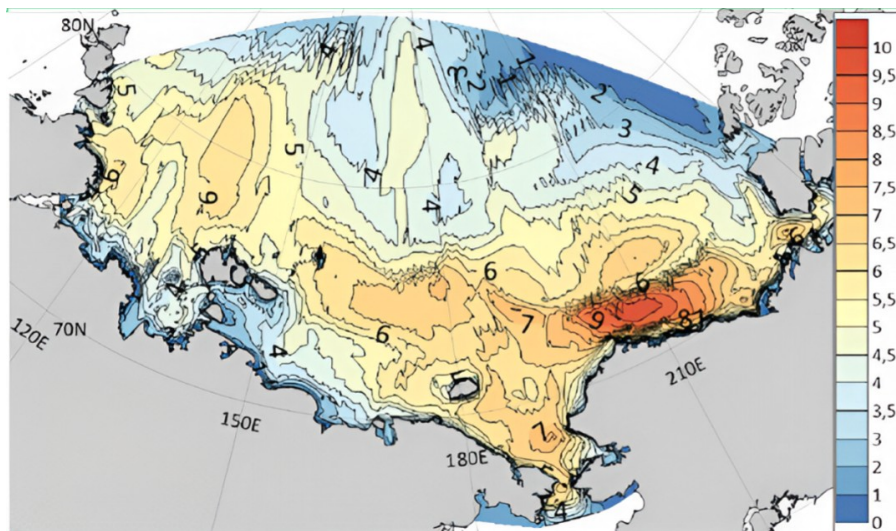


Рисунок 9 - Максимальная многолетняя высота значительных волн с 1979 по 2021 год
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.9>

Примечание: источник [8]

Качественный прогноз возникновения ОВ с большей заблаговременностью может позволить заранее планировать все виды морских работ, в особенности в сложных условиях, и предупреждать о возникновении опасных явлений на акватории океана, что является очень важным и экономически выгодным в современных условиях. На основе метода оценки атмосферных колебаний [5], [9] возможно прогнозировать появление опасного волнения на акватории. Для выявления возмущений такого рода дополнительным параметром служит наблюдаемая выраженная дивергенция и сильная адвекция холодного воздуха. Метод позволяет прогнозировать район возникновения опасного волнения с заблаговременностью до 10–15 суток.

Информационные системы и базы данных

6.1. Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)

ЕСИМО — это интегрированная информационная система, которая обеспечивает доступ к данным о состоянии атмосферы, океана и ледового покрова, формируемой на основе информации, предоставляемой федеральными органами исполнительной власти и научными организациями (рис. 10). ЕСИМО, осуществляющая деятельность в области подготовки и распространения оперативной диагностической и прогностической информации о состоянии атмосферы и морской среды, играет ключевую роль в координации усилий по мониторингу и прогнозированию гидрометеорологических процессов. В технологическом отношении деятельность центра состоит в реализации информационно вычислительной системы, действующей в автоматизированном режиме и обеспечивающей регулярный выпуск и распространение регламентированной оперативной продукции [14].

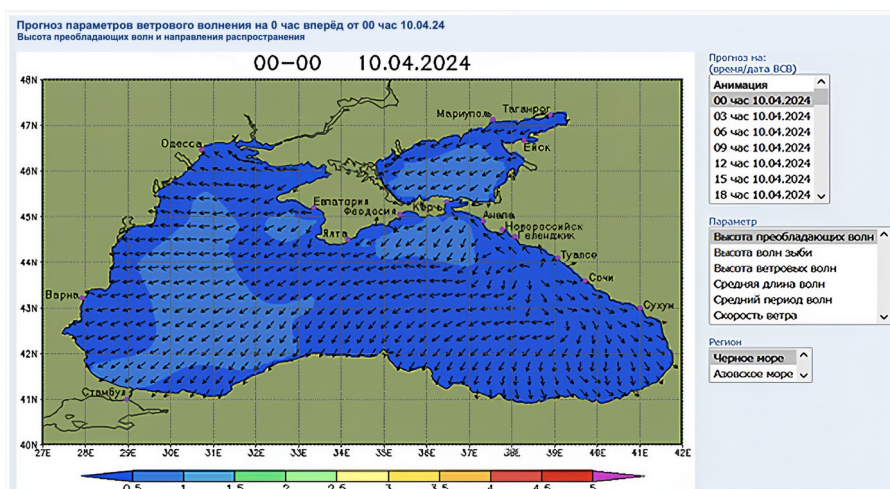


Рисунок 10 - Прогноз параметров ветрового волнения Черного и Азовского морей
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.101.10>

Примечание: источник [11]

ЕСИМО как интегрированная информационная система объединяет данные от различных федеральных органов и научных организаций, предоставляя комплексные сведения о состоянии морской среды, природных ресурсах и антропогенных объектах. Простой доступ к ресурсам ЕСИМО и многообразие информации, которую данная система предоставляет, выделяет её среди других систем и комплексов. Прежде всего это различные формы записи информации о гидрометеорологических параметрах в форме статей, прогноза карт опасных явлений и баз данных, поступающих с постов гидрометеорологической сети, судовых экспедиций. Немаловажным является факт наличия обширных накопленных данных, охватывающий порядка 30 лет, например, толщины льда в акваториях морей Северного Ледовитого океана.

6.2. Глобальные системы наблюдения

Программы Copernicus и GCOS обеспечивают доступ к глобальным базам данных, включая записи о температуре поверхности моря, концентрации парниковых газов и состоянии ледников. Такие данные используются для анализа долгосрочных изменений климата и прогнозирования будущих тенденций изменения сплоченности и присутствия льда на акватории в различные сезоны. Росгидромет обеспечивает гидрометеорологическую безопасность и предоставляет достоверную информацию о состоянии окружающей среды, на системном уровне, способствуя информированности широкого спектра отраслей экономики, развитию и укреплению национальной безопасности. Роскосмос, через Геопортал, предоставляет доступ к данным дистанционного зондирования Земли, что важно для мониторинга и анализа состояния земной поверхности, особенно в рамках длительных временных диапазонов.

Международные программы, такие как CMIP5 и NSIDC, дополняют национальные реестры параметров, предоставляя глобальные данные и модели для изучения климатических процессов, прогнозирования изменений и анализа криосферы.

Каждая из приведённых систем обладает очевидными минусами и преимуществами. Например, в разнообразии приводимой информации об окружающей среде и доступу, интерпретируемости полученной информации.

Среди всех выделяется ЕСИМО в простоте использования и доступности ресурсной базы, а также многообразием получаемой информации, разного типа данных. Помимо указанных плюсов ЕСИМО обладает интеграцией с другими системами получения информации об окружающей среде, что расширяет возможности применения комплекса как потенциального источника данных для проектирования.

Таким образом, интеграция данных из различных источников в рамках ЕСИМО, использования современных технологий позволяет эффективно решать задачи, связанные с получением, первичной обработкой и формированием исходных данных для различных отраслей экономики.

Перспективы развития

Одним из перспективных направлений является развитие автоматизированных систем прогнозирования, использующих различные программные комплексы и системы накопления и первичной обработки поступающих данных, позволяющие повысить точность прогнозов и сократить время подготовки. Такие инновации применяются в осуществлении различных отраслей, таких как обеспечение мореплавания. Однако в проектировании морских сооружений вышеописанные методы и практики не применяются ввиду использования традиционных, а также в существующих ограничениях в виде несформированных и не описанных подходов в нормативной документации.

Применив такие подходы возможно ускорить и упростить получение исходных данных для назначения расчетных значений нагрузки.

Несмотря на значительные достижения, существующая наблюдательная сеть в Арктике остается недостаточно развитой. Необходимо расширить сеть гидрометеорологических станций и постов, особенно в труднодоступных районах.

Заключение

В рамках проделанной работы были достигнуты следующие задачи:

- изучены возможности систем дистанционного зондирования (ДЗЗ), спутниковых наблюдений (например, Роскосмос, Copernicus) и численного моделирования (WAVEWATCH III, CMIP5) для получения данных о ледовом покрове, волнении, ветре и других параметрах;
- подтверждена эффективность ЕСИМО как интегрированной платформы для сбора и анализа данных о морской обстановке, включая ледовые карты в формате SIGRID-3 и прогнозы ледового дрейфа;
- выявлено недостаточное качество проводимых замеров на постах гидрометеорологической сети ввиду постепенного снижения количества наблюдательных пунктов, дефицит специалистов, сложных климатических условий и постепенного выхода из строя измерительного оборудования.

Арктика является уникальным регионом с огромным экономическим потенциалом. Однако, освоение Арктики требует решения сложных задач, связанных с прогнозированием и мониторингом гидрометеорологических процессов. Современные методы, основанные на использовании спутниковых данных, численного моделирования и автоматизированных систем, позволяют значительно повысить точность прогнозов и обеспечить безопасность хозяйственной деятельности. В будущем развитие таких технологий станет ключевым фактором успеха в освоении Арктики.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Волгутов Р.В. Методическое пособие по созданию карт морского ледяного покрова на основе спутниковых данных оптического, инфракрасного и микроволнового диапазонов в многофункциональной программной среде «PLANETAMULTISAT» / Р.В. Волгутов, В.А. Кровотынцев, А.А. Максимов [и др.] // Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». Информационный сборник № 48 / под ред. А.А. Алексеевой. — Москва: Гидрометцентр России, 2021. — С. 89–95.
2. Дымент Л.Н. Метод долгосрочного прогноза дрейфа льда в Арктическом бассейне с заблаговременностью от трех месяцев / Л.Н. Дымент, С.М. Лосев. — Санкт-Петербург: ААНИИ.
3. Кантаржи И.Г. Арктический газ станет ближе для нас / И.Г. Кантаржи, А.С. Аншаков. — Москва: МГСУ, 6 с.
4. Лосев С.М. Технология воспроизведения полей скорости дрейфа льда в Арктическом бассейне по данным автоматических буев / С.М. Лосев, Ю.А. Горбунов, И.А. Сергеева // Труды ААНИИ. — 2002. — Т. 445. — С. 101–112.
5. Лукин А.А. Циркуляция в средней тропосфере и прогноз опасного ветрового волнения в северной Атлантике / А.А. Лукин. — Москва: Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, 2012. — Вып. 347.
6. Марцинкевич Б. Арктика – территория развития / Б. Марцинкевич // Геоэнергетика.ru. — 2017. — URL: <https://geoenergetics.ru/2017/10/31/arktika-territoriya-razvitiya/> (дата обращения: 20.11.2023).
7. Марченко Н.А. Изучение особенностей дрейфа льда в Баренцевом море / Н.А. Марченко // Вести газовой науки. — 2018. — № 4 (36). — С. 14.
8. Мысленков С.А. Особенности моделирования ветрового волнения в море Лаптевых, Чукотском и Восточно-Сибирском морях / С.А. Мысленков. — 6 с.
9. Нестеров Е.С. О влиянии обрушения планетарных волн в атмосфере на североатлантическое колебание / Е.С. Нестеров. — Москва: Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, 2012. — Вып. 347.
10. Обзор состояния и работы гидрологической сети в арктической зоне РФ за 2022 г. — Санкт-Петербург: ААНИИ, 2023.
11. Прогноз параметров ветрового волнения Черного и Азовского морей // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. — URL: <http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/opermodule> (дата обращения: 10.04.2024).
12. Результаты научно-исследовательских и технологических работ, выполненных НИУ Росгидромет в 2020 году. — Приложение № 1 к решению Росгидромета от 22.12.2020.
13. Романцов В.А. Состояние и развитие наблюдательной сети Арктики на этапе МПГ 2007/08 / В.А. Романцов, Л.Ю. Васильев, Д.А. Козелов // Метеорологические и геофизические исследования. — Москва; Санкт-Петербург: ООО «Паульсен», 2011.
14. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. — Москва: Росгидромет, 2009.
15. Руководящий документ 52.04.700-2008. Типовое положение о труднодоступной гидрометеорологической станции Росгидромета. — 2009.
16. Сахненко М.А. Строительство гидротехнических сооружений в условиях Арктики / М.А. Сахненко // Фундаменты. — 2020. — № 2. — С. 32–34.
17. Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: сборник тезисов докладов V Всероссийского научно-практического семинара / Министерство науки и высшего образования РФ, НИУ МГСУ. — Москва: МИСИ – МГСУ, 2022. — URL: https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2022/Sbornik_Sovrem-problemy-gidravliki_IGES_2022.pdf (дата обращения: 12.05.2025)
18. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Volgutov R.V. Metodicheskoe posobie po sozdaniyu kart morskogo ledjanogo pokrova na osnove sputnikovyh dannyh opticheskogo, infrakrasnogo i mikrovolnovogo diapazonov v mnogofunkcional'noj programmnoj srede «PLANETAMULTISAT» [Methodological guide for creating sea ice cover maps based on satellite data of optical, infrared, and microwave ranges in the multifunctional software environment "PLANETAMULTISAT"] / R.V. Volgutov, V.A. Krovotyincev, A.A. Maksimov [et al.] // Nauchno-issledovatel'skij centr kosmicheskoy gidrometeorologii «Planeta». Informacionnyj sbornik № 48 / ed. by A.A. Alekseeva. — Moscow: Gidrometcentr Rossii, 2021. — P. 89–95. [in Russian]
2. Dymen L.N. Metod dolgosrochnogo prognoza drejfa l'da v Arktičeskom bassejne s zablagovremennost'ju ot treh mesjacev [Method for long-term forecast of ice drift in the Arctic Basin with a lead time of three months] / L.N. Dymen, S.M. Losev. — Saint Petersburg: AANII. [in Russian]
3. Kantarzhii I.G. Arktičeskij gaz stanet blizhe dlja nas [Arctic gas will become closer to us] / I.G. Kantarzhii, A.S. Anshakov. — Moscow: MGSU, 6 p. [in Russian]

4. Losev S.M. Tehnologija vosproizvedenija polej skorosti drejfa l'da v Arktičeskom bassejne po dannym avtomatičeskih bujev [Technology for reproducing ice drift velocity fields in the Arctic Basin based on automatic buoy data] / S.M. Losev, Ju.A. Gorbunov, I.A. Sergeeva // Trudy AANII. — 2002. — Vol. 445. — P. 101–112. [in Russian]
5. Lukin A.A. Cirkuljacija v srednej troposfere i prognoz opasnogo vetrovogo volnenija v severnoj Atlantike [Circulation in the middle troposphere and forecast of dangerous wind waves in the North Atlantic] / A.A. Lukin. — Moscow: Gidrometeorologičeskij naučno-issledovatel'skij centr RF, 2012. — Iss. 347. [in Russian]
6. Marcinkevič B. Arktika – territorija razvitija [Arctic – territory of development] / B. Marcinkevič // Geoenergetika.ru. — 2017. — URL: <https://geoenergetics.ru/2017/10/31/arktika-territoriya-razvitiya/> (accessed: 20.11.2023). [in Russian]
7. Marchenko N.A. Izučenie osobennostej drejfa l'da v Barencevom more [Study of ice drift features in the Barents Sea] / N.A. Marchenko // Vesti gazovoj nauki. — 2018. — No. 4 (36). — P. 14. [in Russian]
8. Myslenkov S.A. Osobennosti modelirovanija vetrovogo volnenija v more Laptevych, Čukotskom i Vostočno-Sibirskih morjah [Features of wind wave modeling in the Laptev, Chukchi, and East Siberian Seas] / S.A. Myslenkov. — 6 p. [in Russian]
9. Nesterov E.S. O vlijanii obrušenija planetarnyh voln v atmosfere na severoatlantičeskoe kolebanie [On the influence of planetary wave breaking in the atmosphere on the North Atlantic Oscillation] / E.S. Nesterov. — Moscow: Gidrometeorologičeskij naučno-issledovatel'skij centr RF, 2012. — Iss. 347. [in Russian]
10. Obzor sostojanija i raboty gidrologičeskoj seti v arktičeskoj zone RF za 2022 g. [Review of the state and operation of the hydrological network in the Arctic zone of the Russian Federation for 2022]. — Saint Petersburg: AANII, 2023. [in Russian]
11. Prognoz parametrov vetrovogo volnenija Černogo i Azovskogo morej [Forecast of wind wave parameters in the Black and Azov Seas] // Edinaja gosudarstvennaja sistema informacii ob obstanovke v mirovom okeane [Unified State System of Information on the World Ocean Situation]. — URL: <http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/opermodule> (accessed: 10.04.2024). [in Russian]
12. Rezul'taty naučno-issledovatel'skih i tehnologičeskih rabot, vypolnennyh NIU Rosgidromet v 2020 godu [Results of research and technological work performed by Roshydromet Research Institutes in 2020]. — Appendix No. 1 to the Roshydromet decision of 22.12.2020. [in Russian]
13. Romancov V.A. Sostojanie i razvitie nabljudatel'noj seti Arktiki na jetape MPG 2007/08 [State and development of the Arctic observational network during the IPY 2007/08] / V.A. Romancov, L.Ju. Vasil'ev, D.A. Kozelov // Meteorologičeskie i geofizičeskie issledovanija [Meteorological and Geophysical Research]. — Moscow; Saint Petersburg: Paulsen, 2011. [in Russian]
14. Rukovodstvo po gidrometeorologičeskomu obespečeniju morskoy dejatel'nosti [Guidelines for hydrometeorological support of maritime activities]. — Moscow: Rosgidromet, 2009. [in Russian]
15. Rukovodjaščij dokument 52.04.700-2008. Tipovoe položenie o trudnodostupnoj gidrometeorologičeskoj stancii Rosgidrometa [Guidance document 52.04.700-2008. Standard regulations on hard-to-reach hydrometeorological stations of Roshydromet]. — 2009. [in Russian]
16. Sahnenko M.A. Stroitel'stvo gidrotehničeskih sooruzenij v uslovijah Arktiki [Construction of hydraulic structures in the Arctic] / M.A. Sahnenko // Fundamenty. — 2020. — No. 2. — P. 32–34. [in Russian]
17. Sovremennye problemy gidravliki i gidrotehničeskogo stroitel'stva: sbornik tezisov dokladov V Vserossijskogo naučno-praktičeskogo seminaru [Modern problems of hydraulics and hydraulic engineering: collection of abstracts of the V All-Russian Scientific and Practical Seminar] / Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, NRU MGSU. — Moscow: MISI – MGSU, 2022. — URL: https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2022/Sbornik_Sovrem-problemy-gidravliki_IGES_2022.pdf (accessed: 12.05.2025) [in Russian]
18. SP 11-105-97. Inženerno-geologičeskie izyskaniya dlya stroitel'stva. Chast' I. Obshchie pravila proizvodstva rabot [SP 11-105-97. Engineering and geological surveys for construction. Part I. General rules for the performance of work] [in Russian]