

ОКЕАНОЛОГИЯ  
OCEANOLOGY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-1-8-25>  
УДК 504.423



ОБЗОР

REVIEW

**Состояние и перспективы развития системы мониторинга  
гидрологических условий акватории  
Северного Ледовитого океана**

*И.М. Ашик\**, *В.В. Алексеев*, *Е.В. Блошкина*, *М.Ю. Кулаков*,  
*М.С. Махотин*, *А.Д. Тарасенко*, *К.В. Фильчук*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия*

*\*ashik@aari.nw.ru*

**Резюме**

В статье сформулированы цели и задачи мониторинга гидрологических условий, излагаются общие соображения о развитии и построении системы мониторинга гидрологических условий в Арктике с учетом использования современных средств и методов океанографических наблюдений и исследований. Показано, что наиболее перспективным представляется использование в системе мониторинга автоматических измерительных комплексов, включающих в себя заякоренные буйковые станции, дрейфующие буи-профилографы. Отмечена особая ценность данных спутниковой океанографии. Вместе с тем сохраняется ценность прибрежных наблюдений, выполняемых на сети станций Росгидромета, а также на базе научных центров, объединенных в Арктическую пространственно-распределенную обсерваторию. Включение в состав этой обсерватории ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс», идущей на смену дрейфующим станциям, даст возможность не только наблюдать и измерять основные характеристики водных масс, но и проводить управляемые натурные эксперименты, позволяющие глубже понять разномасштабные физические процессы, протекающие в водах Северного Ледовитого океана. Важным элементом системы мониторинга является усвоение данных, основанное на использовании численных моделей, учитывающих влияние ледяного покрова в системе взаимодействия атмосфера — морской лед — океан.

**Ключевые слова:** арктические моря, мониторинг, океанография, Северный Ледовитый океан.

**Для цитирования:** *Ашик И.М., Алексеев В.В., Блошкина Е.В., Кулаков М.Ю., Махотин М.С., Тарасенко А.Д., Фильчук К.В.* Состояние и перспективы развития системы мониторинга гидрологических условий акватории Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2022. Т. 68. № 1. С. 8–25. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-1-8-25>.

Поступила 18.03.2022

После переработки 03.04.2022

Принята 05.04.2022

## **State and development prospects of the hydrological monitoring system of the Arctic Ocean**

*Igor M. Ashik\*, Vladislav V. Alekseev, Ekaterina V. Bloshkina,  
Mikhail Yu. Kulakov, Mikhail S. Makhotin, Anastasiya D. Tarasenko,  
Kirill V. Filchuk*

*State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute,  
St. Petersburg, Russia*

*\*ashik@aari.nw.ru*

### **Summary**

The article briefly substantiates the need for regular monitoring of the state of the waters of the Russian Arctic Seas and the Arctic Basin of the Arctic Ocean. The goals and objectives of monitoring hydrological conditions are formulated. General ideas about the development and construction of a system for monitoring hydrological conditions in the Arctic are expressed, taking into account the use of modern instruments and methods of oceanographic observations. It is shown that the most promising is the use of autonomous measuring complexes in the monitoring system, including moorings and drifting profiler buoys. The special value of satellite oceanographic data is emphasized. No less important are coastal observations carried out over the network of Roshydromet stations, as well as at research centers united into the Arctic Space-Distributed Observatory. The inclusion into this Observatory of the ice self-propelled platform “North Pole”, which will replace the drifting stations, will allow not only observing and measuring the main characteristics of the water masses, but also conducting controlled field experiments that will provide a deeper understanding of different-scale physical processes occurring in the waters of the Arctic Ocean. An important element of the monitoring system is data assimilation based on the use of numerical models that allow for the effect of the ice cover in the atmosphere-sea ice-ocean interaction system.

**Keywords:** monitoring, oceanography, the Arctic Ocean, the Arctic seas.

**For Citation:** *Ashik I.M., Alekseev V.V., Bloshkina E.V., Kulakov M.Yu., Makhotin M.S., Tarasenko A.D., Filchuk K.V.* State and development prospects of the hydrological monitoring system of the Arctic Ocean. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2022, 68 (1): 8–25. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-1-8-25>.

**Received 18.03.2022**

**Revised 03.04.2022**

**Accepted 05.04.2022**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Глобальное изменение климата нашей планеты является одной из ключевых проблем, оказывающих существенное влияние практически на все сферы человеческой деятельности. Полярные области Земли и, в частности, Северный Ледовитый океан (СЛО) — важнейшие участники этих изменений. В последние десятилетия в Арктическом регионе фиксируется сокращение площади ледяного покрова, увеличение влияния атлантической воды на Арктический бассейн, интенсификация циклонической деятельности, что ведет к перестройке структуры водной толщи и изменению интенсивности гидрохимических и гидробиологических процессов. Исследования последних лет указывают на существенную роль межгодовых циклов в формировании межгодовой (климатической) изменчивости СЛО, особенно макромасштабной изменчивости его ледового и гидрологического режимов. Вместе с тем возрастает нагрузка на арктическую экосистему, связанная с деятельностью человека. Развитие добычи нефти и газа, рост судоходства могут привести к за-

грязнению окружающей среды и значительным нарушениям экосистемы. Важным остается вопрос сохранения и адаптации коренных народов Крайнего Севера к происходящим изменениям.

В связи с этим на первый план выходит задача организации системы мониторинга природных условий в северной полярной области. В зависимости от области применения и решаемых задач определение понятия «мониторинг» может иметь свою специфику. В широком смысле под мониторингом (от лат. *monitor* — тот, кто напоминает, предупреждает) понимается слежение за какими-то объектами или явлениями, то есть получение информации о каком-то объекте или ситуации с заданной периодичностью и с помощью одних и тех же индикаторов.

В рамках наук об окружающей среде было дано определение: мониторинг — комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Исходя из определения, система мониторинга должна удовлетворять следующим требованиям: репрезентативность, регулярность, комплексность и системность наблюдений — и обеспечивать потребителя качественной информацией. Результаты такого мониторинга станут основой для совершенствования как технологии наблюдения за состоянием СЛО и его отдельных районов, так и методов прогноза.

В рамках данной статьи рассмотрена концепция мониторинга исключительно гидрологических условий, таких как температура и соленость воды, течения, ветровое волнение и уровень моря.

Измерения различных характеристик океанографического режима, выполняемые в настоящее время, весьма нерегулярны, что обусловлено наличием ледяного покрова, суровыми климатическими условиями, отсутствием развитой инфраструктуры. На основе получаемых данных сложно оценить динамику природных процессов и прогнозировать эволюцию системы в условиях происходящих изменений. В связи с этим для максимально полного и качественного освещения гидрометеорологической обстановки необходимо усовершенствование существующей системы постоянного действующего мониторинга состояния СЛО.

Система мониторинга гидрологического режима акватории арктических морей и Арктического бассейна СЛО строится с учетом государственной политики Российской Федерации в области морской деятельности, национальные интересы которой охватывают экономику и науку, геополитику, военную безопасность, экологию и социальную сферу.

Цель данной работы состоит в формировании общих принципов, общего подхода и конкретных предложений к созданию в перспективе комплексной системы мониторинга состояния арктических морей и Арктического бассейна Северного Ледовитого океана, как объектов, на которых уже в ближайшем будущем развернется интенсивная хозяйственная деятельность, существенным образом влияющая на социально-экономические условия как Арктического региона, так и других районов Российской Федерации.

#### ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

Основная цель мониторинга гидрологического режима морских акваторий арктических морей и Арктического бассейна СЛО состоит в обеспечении государственных органов, общественных организаций, научных учреждений, хозяйствующих

субъектов, коммерческих организаций, населения и др. регулярной, качественной, максимально полной информацией о физическом и динамическом состоянии вод Арктического бассейна СЛО и арктических морей, используемой для поддержки морской деятельности в высоких широтах Арктики.

В число задач совершенствования системы мониторинга гидрологического режима морских акваторий арктических морей и Арктического бассейна СЛО входят:

- усовершенствование и обеспечение функционирования сети гидрометеорологических станций в Арктическом регионе;
- разработка оптимальной сети наблюдений, выполняемых в рамках морских экспедиций, и определение точек постановки автоматических измерительных комплексов;
- сбор, хранение, систематизация результатов наблюдений за характеристиками вод Северного Ледовитого океана, включая данные по вертикальному распределению гидрофизических и динамических характеристик водной толщи;
- проведение специальных научных исследований в местах разработки нефтяных и газовых месторождений;
- развитие систем обработки информации на основе гидродинамических и динамико-стохастических методов;
- обеспечение функционирования на территории Арктического региона пунктов сбора и распространения гидрометеорологической информации;
- создание и развитие гидродинамических и прогностических моделей.

Полученные в ходе мониторинга данные могут быть использованы для решения широкого спектра задач, в их числе:

- анализ и оценка состояния вод СЛО;
- развитие научных представлений о функционировании морской природной среды и последующее использование этой информации для объяснения и прогноза наблюдаемых изменений климата Арктики;
- оценка воздействия изменений климата на различные отрасли народного хозяйства и экологическое состояние природной среды в Арктике;
- исследование гидрометеорологических процессов, обеспечение текущей информацией о природных условиях и процессах населения, организаций, фирм, государственных органов в новых условиях хозяйствования в Арктике.

## **СТРУКТУРА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

### **Береговые наблюдения**

#### ***Сеть береговых гидрометеорологических станций и обсерваторий***

Наблюдения на береговых гидрометеорологических станциях и постах проводятся в оперативных целях: для информирования заинтересованных организаций и населения о состоянии гидрологических элементов в прибрежной зоне моря и устьев рек, контроля качества морских вод по гидрохимическим показателям, использования этой информации в прогностических органах для подготовки гидрологических прогнозов и в научно-методических целях: для составления различного рода режимно-справочных пособий, а также для изучения изменчивости элементов гидрологического и гидрохимического режима, механизмов его формирования и развития, специальных научных исследований.

На береговых станциях, в зависимости от программы, проводятся наблюдения за уровнем моря, температурой и соленостью (плотностью или удельным весом)

воды, волнением и ледяным покровом, гидрохимическими показателями вод, опасными и стихийными явлениями.

Сеть морских береговых и устьевых гидрометеорологических (г/м) пунктов наблюдений подразделяют на основную (включая реперные «вековые» пункты наблюдения) и дополнительную (вспомогательную). Реперная сеть ведет наблюдения для изучения вековой изменчивости гидрологических характеристик морей и морских устьев рек.

К концу 1980-х гг. в арктических морях России была создана обширная сеть станций, осуществлявших наблюдения за колебаниями уровня моря. Водопосты, оборудованные футштоками, а в некоторых случаях и мареографами, создавались не только на морских береговых станциях, располагавшихся как на материковом побережье арктических морей, так и на островах, но и на речных станциях, находившихся в устьях рек, впадающих в арктические моря. В основном плотность сети уровенных наблюдений была вполне удовлетворительной. Расположение и количество уровенных водопостов позволяли решать как сугубо научные, так и чисто практические задачи. В Карском море существовал 31 водопост, 17 из них были оборудованы мареографами; в море Лаптевых находилось 18 водопостов, из них 6 были оснащены самописцами уровня моря; в Восточно-Сибирском море — 10 водопостов, на трех стояли мареографы; в Чукотском море — 5 водопостов, из них 2 были оборудованы самописцами. Расстояние между водопостами, располагавшимися на материковом побережье, в среднем составляло 150–200 км. Исключением являлись восточное побережье Новой Земли, на всем протяжении которого не было ни одной станции, и участок материкового побережья от пролива Дмитрия Лаптева до Колымского залива протяженностью около 700 км, где только в навигационный период действовала единственная станция, располагавшаяся в устье реки Индигирки. Наблюдения за уровнем моря осуществлялись на всех участках трасс, лимитирующих судоходство: на барах сибирских рек, на перекатах и в мелководных проливах. Водопосты располагались во всех портах и портопунктах Северного морского пути. Наблюдения за уровнем моря были организованы в поселках, время от времени подвергавшихся подтоплению. Система контроля за проведением наблюдений позволяла получать достоверную и качественную информацию.

На сегодняшний день состояние сети уровенных наблюдений в арктических морях России представляется крайне неудовлетворительным. Сокращение сети и прекращение наблюдений в 1990-х гг. происходило стихийно, не опиралось на научный анализ и не учитывало требований безопасности населения. Были прекращены наблюдения на станциях, включенных в систему международного обмена данными, прерваны длительные ряды наблюдений. В 2021 г. наблюдения за уровнем моря осуществлялись только на девяти станциях Карского моря и четырех станциях моря Лаптевых. Восточно-Сибирское и Чукотское моря наблюдениями за уровнем моря вообще не освещены.

В современных условиях полное восстановление сети береговых станций и постов не представляется возможным. Необходимы максимальная автоматизация гидрометеорологических наблюдений и оптимизация сети наблюдений. Исходя из целей производства береговых наблюдений, в основу оптимизации сети наблюдений должны быть положены следующие принципы:

- обеспечение репрезентативности для отдельных районов морей, имеющих однородные гидрологические условия;
- поддержание многолетних рядов систематических наблюдений;

– обеспечение данными наблюдений, необходимыми для своевременного предупреждения об угрозе возникновения опасных и стихийных морских гидрологических явлений.

В настоящее время Росгидрометом ведутся работы по программе «Модернизация и развитие гидрометеорологической сети наблюдений за состоянием окружающей среды в Арктической зоне Российской Федерации» Подпрограммы 4 «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Арктике и Антарктике» государственной программы «Охрана окружающей среды».

Целью модернизации является создание более качественной и эффективно работающей системы для решения задач наблюдения и прогнозирования, повышения уровня освещенности арктических территорий и акваторий гидрометеорологической информацией, повышения уровня обеспечения безопасности морских операций на трассах Северного морского пути, работ по освоению арктического континентального шельфа.

### ***Научный центр на Шпицбергене***

Для усиления российского научного присутствия на архипелаге Шпицберген Правительством РФ в рамках подпрограммы «Освоение и использование Арктики», ФЦП «Мировой океан», III этап (2008–2012 гг.) был утвержден проект «Укрепление российского присутствия на архипелаге Шпицберген», который предусматривал создание Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (РНЦШ). Постановлением Правительства РФ от 11 июля 2007 г. № 442 было утверждено Положение о Правительственной комиссии по обеспечению российского присутствия на архипелаге Шпицберген. Координатором всех работ по этому проекту был назначен Росгидромет.

Основной целью РНЦШ является создание и поддержка единой инфраструктуры систем мониторинга природных процессов и состояния природной среды в районе Шпицбергена и на прилегающей акватории СЛЮ, а также координация научных программ, выполняемых организациями Минприроды, РАН и Росгидромета.



Рис. 1. Лабораторный корпус РНЦШ в Баренцбурге после реконструкции

Fig. 1. The research station laboratory in Barentsburg after reconstruction

Важность получения регулярной информации о состоянии вод к западу от архипелага Шпицберген обуславливается высокой степенью синоптической изменчивости положения и характеристик фронтальной зоны в районе океанологического полигона между теплыми и солеными водами Западно-Шпицбергенского течения и относительно более холодными и пресными водами прибрежных районов. Это обстоятельство дает возможность выполнять исследования сложного комплекса природных процессов и механизмов взаимодействия водных масс различного происхождения. Полученные данные позволяют проводить непрерывную оперативную диагностику состояния вод фьордов арх. Западный Шпицберген и динамических характеристик, изучать причины и последствия наблюдаемых экстремальных изменений морской климатической системы Арктики, а также увеличить заблаговременность прогноза происходящих изменений состояния вод СЛО и его ледяного покрова.

Программа океанографических исследований включает в себя эпизодическое выполнение станций на регулярных разрезах в акваториях фьордов арх. Западный Шпицберген и постановку и подъем притопленных буйковых станций в Ис-фьорде.

В РНЦШ организуется локальный архив первичных и обработанных океанологических данных, которые регулярно передаются через спутниковые системы связи или на машиночитаемых носителях в головную организацию, где эти данные включаются в термохалинную базу данных отдела океанологии ААНИИ, а также в базу данных по морским течениям.

#### ***Научно-исследовательский стационар «Ледовая база Мыс Баранова»***

Организация научно-исследовательского стационара «Ледовая база Мыс Баранова» (НИС «Мыс Баранова») проведена в рамках Морской доктрины Российской Федерации и является практической реализацией решения Правительства Российской Федерации от 25.04.2008 г. об обеспечении интересов России в высокоширотных и полярных регионах.

Станция расположена вблизи мыса Баранова на острове Большевик архипелага Северная Земля и на прилегающих льдах пролива Шокальского (временные лагеря), имеет координаты: 79°16' с. ш., 101°45' в. д. (рис. 2).

Основные цели научной деятельности, осуществляемой на НИС «Мыс Баранова»:

- продолжение и расширение гидрометеорологического и экологического мониторинга в регионе архипелага Северная Земля;
- проведение комплексных натурных исследований, необходимых для совершенствования методов гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в Арктическом регионе;
- исследование физических процессов, обуславливающих или обусловленных глобальным и региональным изменениями климата.

Реализация указанных выше целей определяет особенности выполняемых на НИС «Мыс Баранова» работ. Последние ориентированы на выявление причин и последствий изменений климата Арктики в контексте комплексного подхода, ориентированного на исследования взаимосвязанных составляющих арктической климатической системы, исследование термохалинной и гидрохимической структуры водных масс в проливе Шокальского и водообмена между Карским и Лаптевых морями.

Программа океанографических исследований включает в себя регулярное выполнение станций на разрезах и постановку и подъем притопленных буйковых станций в проливе Шокальского.

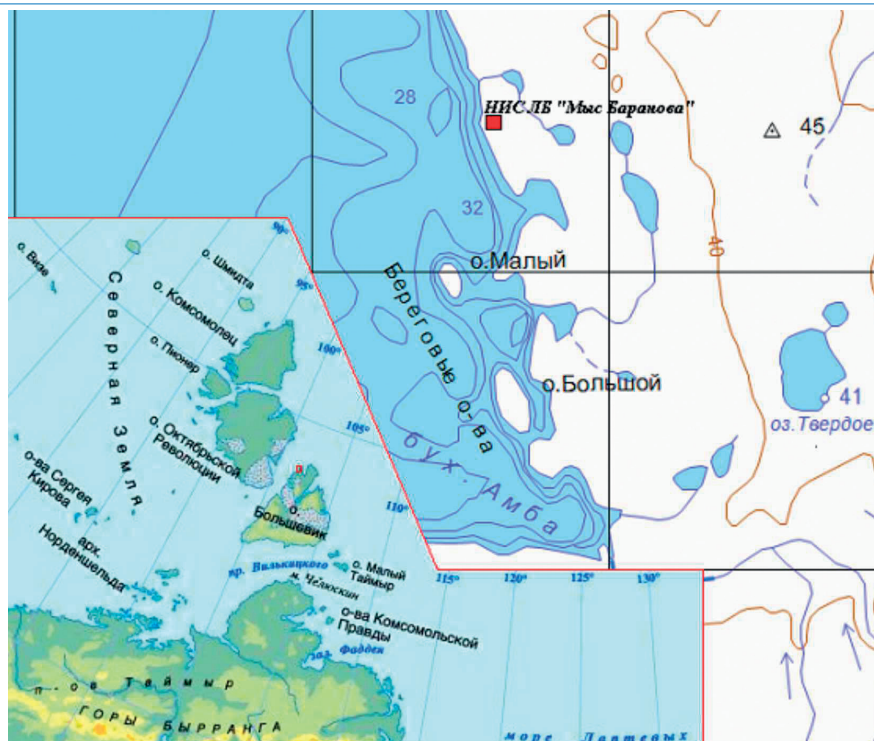


Рис. 2. Географическое положение НИС «Мыс Баранова»

Fig. 2. Location of the "Cape Baranova" station

На базе организуется локальный архив первичных и обработанных океанологических данных, которые регулярно передаются в головную организацию, где эти данные включаются в термохалинную базу данных отдела океанологии ААНИИ, а также в базу данных по морским течениям.

#### ***Арктическая пространственно-распределенная обсерватория***

Координация программ наблюдений в научных центрах на побережье морей Северного Ледовитого океана является основой для создания Арктической пространственно-распределенной обсерватории (АПРО) как структуры, оптимизирующей организацию исследовательских работ на объектах арктической обсервационной инфраструктуры Росгидромета. Это в полной мере соответствует Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации») по направлению «Связанность территории Российской Федерации за счет создания интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики».

Важным звеном в отечественных исследованиях регионов, большую часть года покрытых льдом, являлась деятельность, связанная с организацией дрейфующих станций и ледовых лагерей. Дрейфующие станции «Северный полюс» (1937, 1950–1991,



2003–2013), Высокоширотная экспедиция «Север» (1937, 1941–1993) обеспечили сбор уникальных данных по батиметрии, температуре, солёности, течениям СЛО, в ходе реализации этих масштабных проектов в ААНИИ был наработан колоссальный опыт проведения исследований с базированием на дрейфующем морском льду.

Деградация ледяного покрова, явившаяся следствием климатических изменений, происходивших в последние десятилетия, привела, в том числе, к свертыванию программы работ дрейфующих станций в годовом цикле, оставив возможность организации только сезонных дрейфующих станций в зимне-весенний период. Количество многолетних льдов толщиной 2–3 м, пригодных для организации дрейфующих станций, существенно уменьшилось. Динамические процессы в ледяном покрове стали более интенсивными, значительно увеличилась вероятность разломов ледяных полей. Указанные обстоятельства практически исключают возможность обнаружения надежной ледяной платформы, пригодной для организации полномасштабной станции, рассчитанной на годичную эксплуатацию.

Для продолжения и развития комплексных научных исследований в высоких широтах Северного Ледовитого океана в настоящее время реализуется инновационный проект по созданию плавучей ледостойкой самодвижущейся платформы (ЛСП) с высокой прочностью корпуса, пригодной к использованию в качестве базы дрейфующих научно-исследовательских станций «Северный полюс». ЛСП будет способна функционировать в автономном режиме в течение 2–3 лет, обеспечивая выполнение комплекса исследований, спектр которых может быть значительно расширен относительно стандартного для традиционных дрейфующих станций СП, чьи возможности были ограничены техническими условиями базирования на дрейфующем льду. Наиболее перспективным направлением использования ЛСП для комплексного мониторинга состояния природной среды Арктики представляется ее включение в качестве высокоширотного узла в состав АПРО.

В интересах обеспечения долгосрочного постоянного научного присутствия России в высокоширотной Арктике представляется целесообразной интеграция непрерывно действующих комплексных исследовательских платформ в структуре АПРО. Дальнейшее развитие этой структуры предполагает создание Арктических научно-исследовательских обсерваторий на арктических архипелагах Земля Франца-Иосифа, Новосибирские острова, на островах Диксон и Врангеля, в Певеке, экспедиционных баз на островах Жохова и Средний и включение их в состав распределенной обсерватории. Наряду с проведением комплексных гидрометеорологических исследований, данные объекты должны обеспечивать выполнение специальных научных экспериментов и работ прикладного характера, а также служить основой для проведения ориентированных региональных исследований, направленных на последующее освоение архипелагов. С точки зрения логистики районы географического расположения обсерваторий должны обеспечивать возможности для создания взлетно-посадочных полос и подхода морских транспортных судов и ледоколов.

Эффективное развитие с опорой на узлы АПРО может получить одно из важнейших направлений совершенствования методов сбора оперативных океанографических, метеорологических, ледоисследовательских данных — создание национальной системы автономных дрейфующих измерительных комплексов, выполненных на базе современных технических средств. На базе площадок, входящих в структуру АПРО, могут быть организованы плановые работы по тестовым испытаниям, опыт-

ной эксплуатации и в дальнейшем — развёртыванию отечественной группировки автономных наблюдательных платформ в Арктическом бассейне.

### **Автоматические измерительные комплексы**

В условиях интенсивного развития технических средств все большую популярность в исследованиях Мирового океана обретают автоматические измерительные комплексы. Их основным преимуществом является способность работать автономно в течение длительного срока и при наличии возможности передавать информацию в режиме реального времени.

#### ***Дрейфующие буй-профилографы***

Наиболее интенсивно развивающимся направлением организации наблюдательных сетей в СЛО является создание и поддержка систем автономных дрейфующих измерительных комплексов, выполненных на базе современных технических средств, позволяющих получать высокодискретные ряды значений гидрофизических характеристик, осуществлять глобальное позиционирование, выполнять операции обмена данными с использованием спутниковых каналов связи. Измерительные комплексы, в которых реализованы описанные выше подходы, созданы в США, Франции, Германии, Великобритании, КНР и других странах. Общая тенденция — интеграция на единой автономной платформе, обеспеченной средствами позиционирования и передачи данных, аппаратно-программных модулей регистрации параметров состояния различных сред.

Примером успешной реализации подобного подхода могут служить исследования, выполняемые в рамках проекта Beaufort Gyre Exploration Project. Специально для задач проекта специалистами Вудсхолльского океанографического института (Woods Hole Oceanographic Institution, США) был разработан научно-технический комплекс, получивший наименование Ice-Tethered Profiler (ITP).

Дрейфующие буйковые станции являются единственным источником поступления оперативной океанографической информации. Основными их недостатками являются возможность применения только в глубоководной части СЛО, в случае использования профилографов, перемещающихся вертикально по линии станции, и невозможность получения информации в заранее определенных районах в связи с постоянным дрейфом станции. Факторами, влияющими на длительность работы автономного дрейфующего измерительного комплекса, являются емкость батарей, обеспечивающих работу прибора, и ограничения, связанные с выбором льдины-носителя (траектория и скорость дрейфа).

Подход к использованию дрейфующих комплексов должен быть гибким, решения о постановке буюв в том или ином месте СЛО должны приниматься на основе анализа фактической и прогностической информации о движениях льда в исследуемом районе, батиметрических условий в районе предполагаемого дрейфа, данных, собранных в результате предыдущих постановок.

#### ***Заякоренные буйковые станции***

Наряду с дрейфующими буйковыми станциями интенсивное развитие в системе мониторинга текущих изменений состояния арктической климатической системы получают заякоренные притопленные автономные буйковые станции (ПАБС), с помощью которых выполняется сбор информации в фиксированной точке в течение продолжительного периода времени. Перечень параметров, которые возможно регистрировать при помощи заякоренных станций, определяется списком приборов,

способных работать в автономном режиме, а продолжительность наблюдений — емкостью элементов питания. ПАБС на сегодняшний момент являются единственной возможностью получить достоверную оценку параметров динамического состояния водной толщи: скоростей и направлений морских течений, колебаний уровня моря, а также их сезонной и межгодовой изменчивости.

Для мониторинга состояния вод глубинных слоев Арктического бассейна видится перспективным развитие наблюдений при помощи заякоренных буйковых станций, осуществляемых в ключевых районах СЛО, под которыми следует понимать те районы, где процессы трансформации водных масс протекают наиболее интенсивно. В первую очередь это континентальный склон Евразийского бассейна и глубоководные желоба Чукотского моря. Также большой интерес представляют районы трансграничных переносов Арктического бассейна: пролив Фрама, западная часть Баренцева моря, Берингов пролив.

В условиях наличия ледяного покрова вся измеренная информация накапливается в памяти приборов ПАБС. Для ограниченных районов Арктического бассейна, свободных ото льда, можно использовать дополнительный поверхностный буй, укомплектованный средствами спутниковой связи для оперативной передачи информации в центры сбора данных. В силу специфики получения информации с помощью ПАБС, которое происходит в большинстве случаев с существенной задержкой по времени, эти наблюдения хотя и носят вспомогательный характер с точки зрения оперативного мониторинга, но призваны обеспечить понимание базовых физических концепций функционирования климатической системы и особенностей протекания гидрофизических процессов в отдельных районах СЛО.

#### Экспедиционные исследования

Экспедиционные исследования, в основе которых лежат контактные методы измерений, выполняемых с борта судна на станциях размечаемой на этапе планирования сети полигонов и разрезов, несмотря на развитие автономных платформ и дистанционных методов, остаются важным источником информации об окружающей среде. Основной целью таких исследований является получение данных высокой точности с необходимым пространственным и временным разрешением. При выборе района проведения работ необходимо учитывать такие факторы, как репрезентативность получаемых данных для последующего анализа исследуемых явлений на различных пространственно-временных масштабах, систематичность для оценок происходящих изменений, обусловленных как естественными, так и антропогенными факторами, возможность использовать результаты не только в научных, но и практических целях, комплексность получаемой информации.

Представляется целесообразным возобновление регулярных работ с использованием научно-исследовательских и научно-экспедиционных судов на сети вековых и стандартных разрезов в арктических морях и на акватории СЛО.

Проводимые наблюдения на сети разрезов предоставят возможность отслеживать изменчивость гидрологических и гидрохимических характеристик и использовать полученные данные в гидродинамических и прогностических моделях. Для эффективного решения задач мониторинга необходимо проводить наблюдения на стандартных и вековых разрезах не менее одного раза в месяц при условии отсутствия ледяного покрова и не реже, чем один раз в сезон, при его наличии. Для отслеживания уникальных ситуаций требуется организация дополнительных, более

подробных океанологических съемок. Выполнение работ на разрезах осуществляется с борта судна или с применением вертолета.

При постановке и снятии автоматических измерительных комплексов на акватории СЛО предлагается выполнение разрезов в этих районах не менее чем раз в год, по возможности раз в сезон. Также предлагается создать сеть поперечных разрезов, выполняемых ежегодно, в районе глубоководных котловин (Макарова и Подводников) между хребтами Ломоносова и Менделеева, где наблюдается высокая межгодовая изменчивость расположения так называемого атлантического-тихоокеанского фронта, и стрежня Трансарктического течения.

В рамках системы мониторинга целесообразным представляется возобновление «прыгающих» экспедиций, обеспечивающих информацией об океанографическом режиме практически всего Арктического бассейна за короткий промежуток времени. Эти экспедиции наряду с дрейфующими станциями предоставляют возможность регулярно отслеживать изменения в водной толще океана в те периоды года, когда судовые экспедиции практически не проводятся в связи с тяжелыми ледовыми условиями.

#### **Попутные наблюдения (суда, ледоколы, платформы)**

Большинство морских рейсов, проходящих в арктических морях и СЛО, не связаны напрямую с научно-исследовательской деятельностью, а идут по намеченному заранее маршруту, выполняя индивидуальные, как правило, экономические задачи. В связи с этим для проведения эффективного мониторинга состояния окружающей среды предлагается, в зависимости от выполняемых задач, оборудовать суда автоматическими системами сбора и обработки гидрометеорологической информации, которые во многом смогли бы дополнить данные, получаемые научно-исследовательскими экспедициями, а также в полной мере обеспечить потребность в информации по району трассы Северного морского пути. Для оперативного обеспечения такой информацией структур гидрометеорологической службы требуется учесть возможность передачи получаемых данных в режиме реального или близкого к нему времени.

Наблюдения за гидрометеорологическими характеристиками могут быть выполнены при наличии на борту судна или штатного специалиста, или прикомандированного к судну представителя научно-исследовательских учреждений и подразделений Росгидромета.

Попутные наблюдения, не входящие в основные задачи рейса, предполагают незначительные затраты времени на проведение подобных исследований. В связи с этим предлагается использование батитермографического комплекса с набором ХВТ- и ХСТД-зондов, который позволяет проводить измерения в открытых ото льда участках воды во время движения судна. Для исследования состояния поверхностного слоя воды может использоваться проточная система: после выхода судна из порта насос непрерывно подает забортную воду из-под корпуса судна к измерительному комплексу на борту, включающему в себя, как минимум, датчики температуры и солености, а также любые другие по возможности (кислорода, мутности, концентрации хлорофилла и т. д.). Измерительный комплекс проточной системы работает автономно во время научных и логистических рейсов, требует довольно редкого обслуживания, кроме того, возможно настроить передачу данных с судна в основной центр в оперативном режиме. Для регистрации толщины и концентрации ледяного покрова по ходу движения судна возможна установка на борту судна видеокомплекса.

Отдельно стоит отметить систему наблюдений на стационарных платформах, расположенных на внутреннем шельфе арктических морей.

Наблюдаемые гидрометеорологические характеристики и методика наблюдений на стационарных платформах во многом схожи с измерениями, проводимыми на береговых станциях и постах. Однако расположение платформы в открытом море позволяет проводить вертикальное зондирование толщи воды для определения температуры и солености, а также целого ряда дополнительных характеристик, таких как мутность, концентрация хлорофилла и растворенного кислорода, прозрачность, интенсивность проникновения солнечной радиации и т. д. Подобные наблюдения являются крайне значимыми и должны повсеместно развиваться, т. к. адекватно отражают реальный масштаб явлений (высота волн, колебания уровня и т. д.), происходящих в открытом море, в отличие от данных береговых станций. Это преимущество позволяет использовать данные, получаемые стационарными платформами, для калибровки математических моделей и алгоритмов обработки спутниковой информации.

В отличие от попутных наблюдений, на стационарной платформе для измерения температуры и солености возможно использование зондов первого класса точности.

### Спутниковая океанография

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) из космоса дает уникальную возможность получать информацию о состоянии Мирового океана и, в частности, СЛО с высоким пространственным и временным разрешением, что позволяет оценивать и прогнозировать изменения состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов. Основными преимуществами данных дистанционного зондирования перед контактными методами являются их доступность, оперативность, область покрытия и высокое пространственное и временное разрешение (до нескольких десятков м и нескольких пролетов спутника в день). В Арктическом бассейне сезонные ограничения, связанные с распределением ледяного покрова, представляют трудности для определения параметров поверхностного слоя воды, а частый экраный эффект облачности и продолжительность светового дня — для измерений с использованием каналов видимого диапазона электромагнитного спектра. Тем не менее пассивное ДЗЗ в микроволновом диапазоне, а также радиолокационные исследования позволяют проводить наблюдения и в этих условиях.

По результатам спутниковых измерений в настоящее время можно получать информацию о следующих характеристиках: температура поверхности океана (ТПО) (точность 0,03–0,1 °С в сравнении с данными дрейфующих буев и судовых измерений [1]), соленость (точность около 1 ‰ [2]), уровень океана и геострофические течения (точность 2–3 см), ветровое волнение, данные о динамических структурах, данные об углеродном (нефтяном) загрязнении поверхности океана, содержании примесей (хлорофилл, минеральная взвесь, растворенная органика).

В настоящее время данные измерения обеспечиваются группировкой европейских спутников Sentinel и METOP, американских NOAA и SUOMI-NPP, китайской группировки HaiYang, международных проектов: европейско-американского Jason, китайско-европейского спутника CFOSAT, индийско-французского спутника Saral, американо-японского GCOM и других. Особо стоит отметить группировку российских спутников: Канопус-В-ИК, Метеор-М № 2, Электро-Л, Ресурс-П и новый спутник Арктика, запущенный в 2021 г. В основном эти спутники оснащены

мультиспектральными камерами видимого и ИК диапазона (Метеор М № 2 также оснащен пассивным СВЧ-радиометром). Особенность нового спутника Арктика, а также Электро-Л — это полярная геостационарная орбита, позволяющая проводить непрерывные наблюдения. К сожалению, получение гидрометеорологических параметров с этих спутников ограничено условиями облачности, так как они не оснащены ни СВЧ-радиометром, ни радаром.

С учетом того, что первичная обработка данных дистанционного зондирования осуществляется в специализированных спутниковых центрах (в России — в основном НИЦ Планета), в рамках системы мониторинга предлагается использовать цифровые данные или изображения, имеющиеся в свободном доступе на различных сайтах интернет-сети. При этом спутниковые данные рекомендуется регулярно валидировать с использованием данных контактных измерений, так как алгоритмы для получения «глобальных» коллекций спутниковых данных не всегда используют региональные измерения для проверки точности. В дальнейшем числовые массивы спутниковых данных можно использовать для усвоения в гидродинамических и прогностических моделях и для анализа процессов, происходящих в Арктическом бассейне. Изображения позволят относительно оперативно отслеживать развитие необычных ситуаций и на основе этого планировать последующие экспедиции и исследования.

#### **УСВОЕНИЕ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (ПРИЕМ, КОНТРОЛЬ, АРХИВИРОВАНИЕ, СОЗДАНИЕ И ВЕДЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ, ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ЕСИМО)**

Важным элементом системы мониторинга является механизм сбора, контроля и архивирования данных, поступающих с измерительных платформ. Прием информации необходимо осуществлять в автоматическом режиме с использованием современных каналов связи, соответствующую функциональность должно обеспечить программное обеспечение сервера(ов) системы мониторинга.

Информацию, поступающую со станций гидрометеорологической сети, дрейфующих станций, из гидрометеорологических обсерваторий, мировых центров данных, а также с судов, на которых ведутся попутные наблюдения, планируется усваивать путем обращения к ресурсам Автоматической системы передачи данных (АСПД) по расписанию, соответствующему временному регламенту информационного обмена АСПД. Измерительные платформы, использующие спутниковые каналы связи, такие как дрейфующие буи, автоматические водомерные посты и метеостанции, а также оборудование дистанционного зондирования, размещенное непосредственно на спутниках (радиометры, альтиметры), выгружают данные на станции приема спутниковой информации, с дальнейшей трансляцией в глобальную сеть Internet. Таким образом, при построении программного блока ассимиляции данных необходимо обеспечить возможность обращения к глобальным информационным ресурсам. Результаты исследований, программа которых не предусматривает оперативного обмена информацией (морские экспедиции, долговременные буйковые постановки, авиационные экспедиции с высадкой на лед), предоставляются исполнителями по завершении полевых работ, следовательно, программное обеспечение сервера системы должно выполнять операции загрузки из локальных массивов данных по запросу.

Программное обеспечение (ПО) системы мониторинга предполагается реализовать в рамках клиент-серверной архитектуры. Серверная часть должна включать одну или несколько систем управления базами данных (СУБД), под управлением которых будут развернуты тематические базы данных, структурно оптимизированные

под хранение того или иного вида информации (данные уровенных наблюдений, океанографического профилирования, космические снимки, результаты модельных расчетов и пр.). Кроме того, на сервере должны быть сосредоточены средства автоматической загрузки новой информации, преобразования форматов представления, формального контроля качества, ассимиляции, статистического анализа, визуализации. Серверная часть ПО должна также обеспечивать взаимодействие с внешними информационными системами, такими как ЕСИМО. Клиентская часть ПО будет предоставлять пользовательский интерфейс информационного хранилища системы мониторинга, включая средства конфигурирования запросов к базам, отображения возвращаемых наборов данных и результатов расчетов, операции экспорта, а также инструменты импортирования.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА

Одна из основных задач мониторинга — получение климатически значимых интегральных оценок изменчивости параметров исследуемого объекта. Это далеко не простая задача, если данные экспедиционных наблюдений получены неравномерно в пространстве и времени. Особенно велика эта неравномерность, как правило, в Северном Ледовитом океане, что связано с суровостью его ледовых условий. Численные гидродинамические модели позволяют усваивать результаты натурных наблюдений в отдельных точках и получать синхронизированные поля параметров на равномерной сеточной области, что предоставляет возможность в дальнейшем легко рассчитывать корректные интегральные оценки для исследования временной изменчивости и выявления климатических трендов. За последние несколько лет результаты модельных расчетов вошли в целую серию атласов СЛО [3, 4, 5, 6].

Модели могут оказывать значительную помощь в планировании системы мониторинга. По результатам специальных численных экспериментов можно определить на исследуемой акватории районы, где формируется наиболее отчетливый отклик на возмущения, и/или участки границ, через которые могут проникать наиболее значимые для состояния океана аномалии (например, [7]). Такая информация может быть очень полезной при планировании экспедиционных исследований и выборе мест для установки автоматических измерительных комплексов наблюдений.

Велико значение мониторинга для организации оперативного обеспечения хозяйственной деятельности в СЛО. Именно на основании моделей созданы технологии краткосрочных прогнозов уровня моря, течений и дрейфа льда и айсбергов, переноса и трансформации загрязнений [8]. Эти технологии применяются для обеспечения прогнозами наиболее значимых проектов в Арктике: МЛСП «Приразломная», Ямал СПГ (Сабетта), «Сахалин-1» и др.

Перечисленные направления применения численного моделирования в системе мониторинга не исчерпывают всех возможностей современных моделей, но обязательным условием их применимости является высокое качество воспроизведения моделью исследуемых процессов. Для этого необходимо тщательно верифицировать и калибровать модель путем многочисленных тестовых расчетов и сопоставления результатов с доступными натурными данными.

Ввиду отсутствия продолжительных инструментальных измерений волнения в арктических морях России, мониторинг ветрового волнения основывается на результатах модельных расчетов. Для того чтобы результаты математического моделирования можно было положить в основу системы мониторинга СЛО, модели

должны регулярно проходить верификацию с помощью доступных инструментальных измерений, как в интересующем нас регионе, так и в других регионах, где эти данные существуют. В настоящее время расчет ветроволновых условий осуществляется ежедневным использованием авторской спектрально-параметрической модели AARI-PD2 [9, 10, 11], разработанной в ЛО ГОИН и модифицированной в ААНИИ, а также с помощью дискретно-спектральных моделей 3-го поколения WaveWatch III, SWAN, WAM [12]. Основными исходными данными моделей являются поля атмосферного давления на уровне моря (или поля составляющих скорости ветра на высоте 10 м), данные о положении кромки льда, а также батиметрические данные в узлах расчетной сетки. Исходные данные оперативно поступают из метеорологического центра Брекнелл (Великобритания, EGRR) в ААНИИ в центр коммутации сообщений (ЦКС UNIMAS) автоматизированной системы передачи данных (АСПД) Росгидромета (формат данных GRIB1). Положение кромки льда при расчетах задается по ежедневным спутниковым многоканальным микроволновым данным (SSM/I) и уточняется по данным реанализа сплоченности льда ААНИИ.

Особенностью арктического региона является практическое отсутствие регулярных контактных (буйковых) измерений параметров ветрового волнения и перспективы использования данных спутниковых альтиметров, как для задач непосредственного мониторинга, так и для верификации средств и технологий модельного ветроволнового мониторинга.

#### **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С НАЦИОНАЛЬНЫМИ И ВЕДОМСТВЕННЫМИ ЦЕНТРАМИ СБОРА ИНФОРМАЦИИ ПО СЛЮ**

Взаимодействие с другими центрами сбора информации об океанографическом режиме СЛЮ обуславливает повышение эффективности функционирования системы мониторинга.

Совместимость данных, получаемых в результате различных наблюдений в рамках системы мониторинга, обеспечивается использованием единых Руководящих документов и Наставлений, единых форматов данных, совместимых с информационными системами ЕСИМО, АКМОН, «Север», «Информационной системой ВМО» и др.

В качестве дополнительного источника данных предполагается использовать информацию о термохалинных и гидрохимических характеристиках, доступную для свободного пользования в сети Internet. В случае необходимости возможно приобретение представляющих интерес характеристик на коммерческой основе.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Реализация предлагаемой системы мониторинга гидрологического режима (рис. 3) должна обеспечить всех заинтересованных пользователей достаточно полной, регулярной и качественной информацией о гидрологических условиях арктических морей и Арктического бассейна СЛЮ. Следующими шагами по построению такой системы должна стать разработка Программы и Плана реализации системы мониторинга, включающих в себя проведение НИР, направленных на научное обоснование принятия решений по реализации системы, разработке новых современных методов наблюдений, сбора, обработки и анализа данных, и ОКР, направленных на развитие отечественного морского приборостроения, создание инструментов, приборов, оборудования и морской техники, предназначенных для исследований океана.





Рис. 3. Схема системы мониторинга ААНИИ гидрологических условий Северного Ледовитого океана  
 Fig. 3. Scheme of the AARI monitoring system for the hydrological conditions of the Arctic Ocean

**Конфликт интересов.** Авторы статьи не имеют конфликта интересов.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках Плана научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета в 2020–2021 гг. по теме 5.1.4. «Мониторинг состояния и загрязнения природной среды, включая криосферу, в Арктическом бассейне и районах научно-исследовательского стационара “Ледовая база Мыс Баранова”, Гидрометеорологической обсерватории Тикси и Российского научного центра на архипелаге Шпицберген».

**Competing interests.** The authors have no conflicts of interests.

**Funding.** The study was carried out within the framework of the research program of Roshydromet in 2020–2021, topic 5.1.4 “Monitoring of the state and pollution of the natural environment, including the cryosphere, in the Arctic basin and areas of the research station “Ice Base Cape Baranov”, the Tiksi Hydrometeorological Observatory and the Russian Scientific Center on the Svalbard archipelago”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Q.eu/documents/QUID/CMEMS-SI-QUID-011-016.pdf (дата посещения 06.04.2022).
2. SMOS ARCTIC sea surface salinity fields available at CATDS. URL: [https://www.ifremer.fr/catds\\_fre/News/SMOS-ARCTIC-sea-surface-salinity-fields-available-at-CATDS](https://www.ifremer.fr/catds_fre/News/SMOS-ARCTIC-sea-surface-salinity-fields-available-at-CATDS) (дата посещения 06.04.2022).
3. Атлас гидрометеорологических и ледовых условий морей Российской Арктики / Под редакцией В.А. Павлова и др. М.: ЗАО «Издательство “Нефтяное хозяйство”», 2015. 128 с.
4. Национальный Атлас Арктики: (Электронная версия). М.: АО «Роскартография», 2017. 700 с.
5. Aleksandrov E.I. et al. Ecosystems of the Bering Strait and Factors of Anthropogenic Impact. М.: WWF-Russia, 2019. 282 p.
6. Моря российской Арктики в современных климатических условиях. СПб: ААНИИ, 2021. 360 с.
7. Кулаков М.Ю., Макутас А.П., Шутилин С.В. Модельные оценки чувствительности ледяного покрова Северного Ледовитого океана к изменениям форсингов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 3 (93). С. 66–74.
8. Миронов Е.У., Аишк И.М., Дымов В.И., Кулаков М.Ю., Клячкин С.В. Модели и методы расчета и прогноза ледовых и океанографических условий в арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2 (85). С. 16–28.

9. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. СПб.: Гидрометеоздат, 1998. 500 с.
10. Дымов В.И., Пасечник Т.А., Лавренов И.В., Давидан И.Н., Абузяров З.К. Сопоставление результатов расчетов современных моделей ветрового волнения с данными натурных измерений // *Метеорология и гидрология*. 2004. № 7. С. 87–94.
11. Давидан И.Н., Давидан Г.И., Дымов В.И., Пасечник Т.А. Модифицированная версия спектрально-параметрической модели ветрового волнения и результаты ее верификации // *Изв. РГО*. 2010. Т. 142. Вып. 2. С. 31–39.
12. Нестеров Е.С., Абузяров З.К., Григорьева Г.А., Давидан И.Н., Дымов В.И., Пасечник Т.А. Оценка точности расчета смешанного волнения в океане по современным численным моделям // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 10. С. 44–52.

## REFERENCES

1. Quality information document for Arctic Sea and Ice surface temperature product SEAIce\_ARC\_PHY\_CLIMATE\_L4\_MY\_011\_016. Available at: <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/QUID/CMEMS-SI-QUID-011-016.pdf> (accessed 06.04.2022).
2. SMOS ARCTIC sea surface salinity fields available at CATDS. Available at: [https://www.ifremer.fr/catds\\_fre/News/SMOS-ARCTIC-sea-surface-salinity-fields-available-at-CATDS](https://www.ifremer.fr/catds_fre/News/SMOS-ARCTIC-sea-surface-salinity-fields-available-at-CATDS) (accessed 06.04.2022).
3. *Atlas gidrometeorologicheskikh i ledovykh uslovii morei Rossiiskoi Arktiki*. Atlas of hydrometeorological and ice conditions of the seas of the Russian Arctic. V.A. Pavlov et al. ed. Moscow: ZAO Izdatel'stvo "Neftianoe khoziaistvo", 2015: 128 p. [In Russian].
4. *Natsional'nyi Atlas Arktiki (elektronnaya versiya)*. National Atlas of the Arctic (electronic version). Moscow: AO "Roskartografiya", 2017: 700 p. [In Russian].
5. *Aleksandrov E.I. et al. Ecosystems of the Bering Strait and Factors of Anthropogenic Impact*. Moscow: WWF-Russia, 2019: 282 p.
6. *Moria rossiiskoi Arktiki v sovremennykh klimaticheskikh usloviyakh*. The seas of the Russian Arctic in modern climatic conditions. St. Petersburg: AARI, 2021: 360 p. [In Russian].
7. Kulakov M.Iu., Makshas A.P., Shutilin S.V. Model estimates of the sensitivity of the ice cover of the Arctic Ocean to changes in forcings. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2012, 3 (93): 66–74. [In Russian].
8. Mironov E.U., Ashik I.M., Dymov V.I., Kulakov M.Iu., Kliachkin S.V. Models and methods for calculating and predicting ice and oceanographic conditions in the Arctic seas. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research, 2 (85), 2010: 16–28. [In Russian].
9. *Lavrenov I.V. Matematicheskoe modelirovanie vetrovogo volneniia v prostranstvenno-neodnorodnom okeane*. Mathematical modeling of wind waves in a spatially inhomogeneous ocean. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1998: 500 p.
10. Dymov V.I., Pasechnik T.A., Lavrenov I.V., Davidan I.N., Abuziarov Z.K. Comparison of the results of calculations of modern models of wind waves with the data of field measurements. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2004, 7: 87–94. [In Russian].
11. Davidan I.N., Davidan G.I., Dymov V.I., Pasechnik T.A. Modified version of the spectral-parametric model of wind waves and the results of its verification. *Izvestiya RGO*. News of the Russian Geographical Society. 2010, 142 (2): 31–39. [In Russian].
12. Nesterov E.S., Abuziarov Z.K., Grigor'eva G.A., Davidan I.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A. Assessment of the accuracy of calculating mixed waves in the ocean using modern numerical models. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2011, 10: 44–52. [In Russian].