

ЛЕДОТЕХНИКА ICE TECHNOLOGY

Оригинальная статья / Original paper

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-4-500-512>

УДК 551.467 + 623.746.-519



Основные критерии применимости платформы БПЛА в целях ближней ледовой разведки и оперативного ледово-информационного обеспечения морских операций

С.С. Сероветников✉, Л.А. Старцев, В.Т. Соколов, Т.А. Алексеева
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

✉sssu@aari.ru

ID ЛАС, 0009-0001-2250-3042; ВТС, 0000-0002-7569-5164; ТАА, 0000-0002-1575-8784

Аннотация. Современное развитие методов дистанционного зондирования Земли позволило совершить огромный прорыв в сфере ледово-информационного обеспечения морских операций в арктических и других замерзающих морях. Судоводители теперь регулярно получают оперативные спутниковые данные, ледовые карты и ледовые прогнозы. Однако, несмотря на это, во время проведения некоторых морских операций возникают ситуации, когда спутниковая информация либо имеет недостаточное разрешение, либо не поступает на борт судна оперативно. В случае застревания судов в тяжелых ледовых условиях или, например, выбора ледовой станции для научных работ необходима ледовая разведка непосредственно с борта судна. Если на судне имеется вертолет, то такие задачи решаются с его помощью, однако безопаснее и экономически целесообразнее для этого использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В статье представлен материал, объединяющий в себе многолетний опыт оперативного ледово-информационного обеспечения морских операций, авиационной ледовой разведки, проведения специальных судовых наблюдений за ключевыми характеристиками морского льда, а также опыт эксплуатации различных беспилотных систем в условиях высоких широт сотрудниками Арктического и антарктического научно-исследовательского института. Целью работы является структуризация летно-эксплуатационных характеристик БПЛА как платформы, пригодной к применению в оперативном ледово-информационном обеспечении ледового плавания судов. Основная задача статьи — четко очертить специфику применения и технические требования к беспилотным системам, как применяемым в настоящее время, так и вновь разрабатываемым, что в свою очередь позволит широкому кругу специалистов избежать ошибок на уровне

© Авторы, 2025

© Authors, 2025

планирования применения комплексов БПЛА, а также при разработке и проектировании летательных аппаратов. Для решения поставленной задачи в статье подробно описаны особенности ближней ледовой разведки с борта ледокола, тактика ледовой разведки, предельно допустимые метеорологические условия эксплуатации БПЛА, рассмотрены вопросы о способах возвращения БПЛА на судно и необходимом техническом оснащении аппарата.

Ключевые слова: морской лед, ледовое плавание, ледовая разведка, БПЛА, оптимальный маршрут

Для цитирования: Сероветников С.С., Старцев Л.А., Соколов В.Т., Алексеева Т.А. Основные критерии применимости платформы БПЛА в целях ближней ледовой разведки и оперативного ледово-информационного обеспечения морских операций. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2025;71(4):500–512. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-4-500-512>

Поступила 06.08.2025

После переработки 10.11.2025


Принята 17.11.2025

Key criteria of UAV applicability in medium range ice reconnaissance and ice information service of maritime operations

Sergey S. Serovetnikov✉, Leonid A. Startsev,
Vladimir T. Sokolov, Tatyana A. Alekseeva

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

✉sssu@aari.ru

 LAS, 0009-0001-2250-3042; VTS, 0000-0002-7569-5164; TAA, 0000-0002-1575-8784

Abstract. The modern development of Earth remote sensing methods has enabled scientists to make the huge breakthrough in the field of sea ice information support of maritime operations in the arctic and other freezing seas.

Nowadays ship navigation teams regularly receive near the real time satellite data, ice maps and ice forecasts. Nevertheless, the situations when satellite information has either insufficient resolution or is not transmitted aboard on time are not rare. In the case of ship stuck in the heavy ice conditions or when choosing an ice station for scientific work it is necessary to perform the ice reconnaissance directly from the ship. Such tasks can be solved with the use of a helicopter, nevertheless it is safe and cheaper to use unmanned aerial vehicles (UAV).

The article provides material that combines longstanding experience of conducting an operational sea-ice information support for maritime operations, of aerial ice reconnaissance, special ship-based observations of the sea ice key characteristics as well as experience of operating various unmanned aerial systems in high-latitude conditions by the scientists of the Arctic and Antarctic Research Institute. This paper aims to structure the flight and operational characteristics of the unmanned vehicle (UAV), as a platform useable for operational sea-ice information support of ship navigation in ice. The main objective of the article is to clearly outline the specifics of application and technical requirements for unmanned systems, both currently used and newly developed, which in turn will allow a wide range of professionals to avoid errors at the stage of planning the use of UAV systems, as well as during aircraft development and design. To solve this task the article highlights key criteria of medium range ice reconnaissance from the icebreaker, ice reconnaissance techniques, maximum parameters of meteorological conditions for UAV usage, the ways of UAV returns on the ship, and necessary equipment details.

Keywords: sea ice, ice navigation, ice reconnaissance, UAV, optimal route of navigation

For citation: Serovetnikov S.S., Startsev L.A., Sokolov V.T., Alekseeva T.A. Key criteria of UAV applicability in medium range ice reconnaissance and ice information service of maritime operations. *Arctic and Antarctic Research*. 2025;71(4):500–512. (In Russ.). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2025-71-4-500-512>

Received 06.08.2025

Revised 10.11.2025

Accepted 17.11.2025

Введение

Бурное развитие методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в конце 70-х годов прошлого века сулило невероятные перспективы качественного улучшения методов ледово-информационного обеспечения морских операций в Арктике и прилегающих замерзающих морях [1, 2]. Разработки спутниковых систем мониторинга в различных диапазонах, ускоряющийся рост их разрешающей способности, появление современных алгоритмов дешифровки и соответствующих счетных мощностей, а также создание моделей прогнозирования ледовых условий в целом создали некоторый ореол всемогущества ДЗЗ-ориентированной технологии. В 1995 г. была полностью ликвидирована отрасль ледовой авиаразведки [3].

Устойчивый рост объемов грузоперевозок на трассе Северного морского пути (СМП) [4] и общее развитие арктической инфраструктуры очень быстро показали как достоинства ДЗЗ-ориентированной системы специального гидрометеорологического обеспечения (СГМО) морских операций, так и критические недостатки. Широкий охват, высокая оперативность и многодиапазонность — несомненный плюс спутниковой технологии. К сожалению, реальная разрешающая способность (150–200 м на пиксель), сезонная и метеорологическая зависимость спутниковых данных не позволяют осуществлять оперативный контроль на локальных (малых) участках оживленных трасс СМП [5].

Сокращение количества пунктов получения натуральных данных о ключевых параметрах морского льда, являющихся опорными при дешифровке и верификации данных ДЗЗ, а также используемых для валидации результатов моделирования, привело к необходимости восстановления системы специальных ледовых наблюдений на судах, осуществляющих ледовое плавание [6]. Такие наблюдения позволяют собирать высокодетализированные данные и, используя их как опорные при дешифровке данных ДЗЗ, значительно увеличивать разрешающую способность СГМО для локальных участков маршрута следования судов.

К сожалению, ледовые наблюдения невозможно проводить в при- и загоризонтной области относительно непосредственного судна, а значит, невозможно точно выстраивать избирательный маршрут судна на основе оперативных опорных данных. Избирательное движение судна во льдах, в направлении генерального курса, целиком и полностью основывается на профессиональном опыте капитана и вахтенной службы судна.

Идея о применении БПЛА для осуществления ледовой разведки ближней (до 80 миль) зоны далеко не нова и является в значительной мере перспективной для повышения качества оперативного ледово-информационного обеспечения морских операций [7–10]. Общее развитие технологий и доступность беспилотных систем в настоящее время вполне позволяют осуществлять такие работы.

В нашей стране на фоне государственного финансирования развития Арктики непрерывно появляются многочисленные проекты систем и комплексов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), разрабатываемых для обеспечения ледовой авиаразведки. Все эти проекты без исключения страдают (кроме прочих) одним недостатком, а именно — отсутствием четкого понимания специфики производства ледовых наблюдений, фактических условий применения, эксплуатационно-технических требований и тактики применения в реальных условиях. В результате существующие на рынке и вновь разрабатываемые системы непригодны для ледово-информационного обеспечения морских операций.

На общемировом уровне ситуация с применением БПЛА в целях ледовой разведки характеризуется только обсуждением перспектив применения и редкими экспериментами. Данный факт объясняется наличием классической, пилотируемой ледовой авиаразведки у стран, осуществляющих морские операции в замерзающих морях и Северном Ледовитом океане (в составе служб береговой охраны США, Канады, Норвегии).

Целью работы является структуризация летно-эксплуатационных характеристик беспилотного летательного аппарата как платформы, пригодной к применению в оперативном ледово-информационном обеспечении ледового плавания судов.

Основная задача статьи — четко очертить специфику применения и технические требования к беспилотным системам, как применяемым в настоящее время, так и вновь разрабатываемым, что в свою очередь позволит широкому кругу специалистов избежать ошибок на уровне планирования применения комплексов БПЛА, а также при разработке и проектировании летательных аппаратов.

Ближняя зона ледовой разведки

В качестве базового перспективного носителя БПЛА будем рассматривать ледокол. Ледокольный флот обеспечивает основные транспортные, спасательные и специфические операции в ледовых условиях, что предполагает максимальную ледово-информационную обеспеченность на борту. Несомненно, носителем БПЛА может быть и другое судно ледового класса, но ледокол в этом качестве является наиболее универсальным примером.

Фактически ледокол может идти в одном из трех режимов: автономное следование, в составе каравана судов и в режиме буксировки судна вплотную (в т. ч. в составе каравана). Скоростной режим в среднем варьируется в пределах 7–12 узлов (морских миль в час), что определяется фактической ледовой обстановкой, ограничением скорости движения каравана, ограничением нагрузки на буксируемое судно и текущим техническим состоянием. Маршрут движения ледокола имеет некоторую степень избирательности в пределах направления генерального курса. Фактически ледокол движется во льдах не по прямой линии, а выбирает маршрут с более легкими ледовыми условиями. Избирательность движения максимальна в автономном движении и минимальна при буксировке. Четвертый режим — оковка — мы не рассматриваем, т. к. это специфическая операция и прием или выпуск БПЛА в этот момент вряд ли возможен.

В качестве штатного навигационного оборудования ледокол обеспечен комплексом РЛС, зачастую дополненным ледовой приставкой, позволяющей оценивать сплошность и торосистость льда на расстоянии до 6 миль, далее отраженный сигнал РЛС становится нечитаемым в связи с угловой затененностью торосистыми образованиями.

Передняя кромка ближней зоны ледовой разведки определяется расстоянием от движущегося ледокола до предела видимости ледовых условий по РЛС, скоростью движения ледокола и минимальным временем заблаговременности получения информации о ледовой обстановке впереди. Как показывает практика, передняя кромка ближней зоны ледовой разведки находится на расстоянии 10 миль от судна-носителя в пригоризонтной области. Информация, оперативно получаемая с такого удаления, позволяет планировать избирательность движения в направлении генерального курса.

Дальняя кромка ближней зоны ледовой разведки определяется техническими характеристиками БПЛА, фактическими ледовыми условиями и тактикой проведения текущей морской операции. Оценочное расстояние до дальней кромки ближней зоны ледовой разведки 80 миль (загоризонтная область).

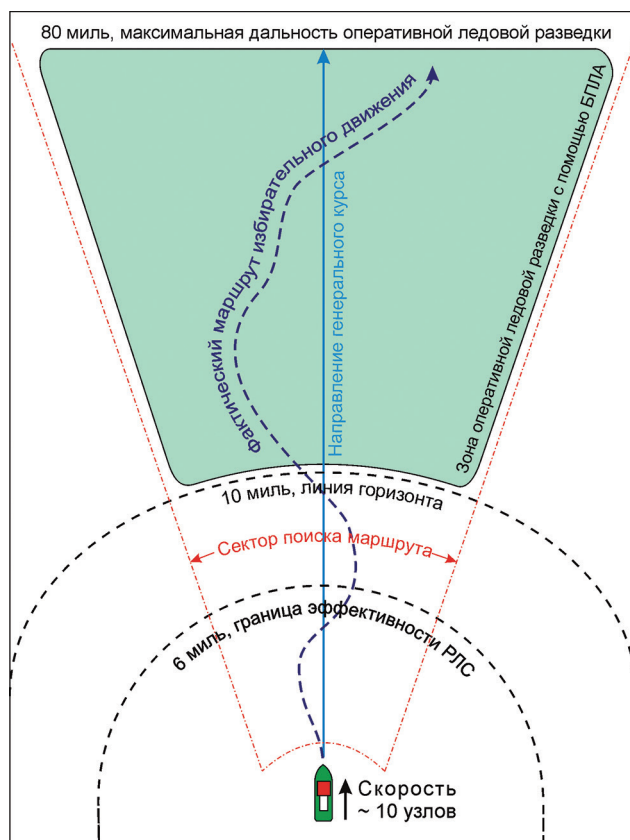


Рис. 1. Схема ближней зоны ледовой разведки, типовой сценарий
Fig. 1. The scheme of the near zone of ice reconnaissance, typical model

Важным параметром ближней зоны ледовой разведки является поисковый сектор, который в типичных условиях может составлять до $\pm 30^\circ$ от направления генерального курса (рис. 1).

Из вышеописанного нетрудно составить основное техническое требование к платформе БПЛА в качестве ледового разведчика: время свободного барражирования не менее 8 часов на удалении до 80 миль от движущегося носителя, а также способность поддерживать оперативный двухсторонний обмен данными с носителем.

Так как в качестве носителя используется ледокол, не имеющий специальных штатных средств для размещения БПЛА, логично сделать вывод, что тип используемого комплекса должен быть мобилен, компактен и не должен требовать значительного вмешательства в палубные конструкции и оборудование судна.

Технически данным требованиям может соответствовать БПЛА самолетного типа с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), массой до 30 кг и массой полезной нагрузки до 4–5 кг.

Электрические и гибридные модели не подходят по дальности, времени действия и энерговооруженности.

Тактика ледовой разведки

Крайне важно отметить факт избыточности проведения непрерывной ледовой разведки в ближней зоне с использованием сменяющихся на маршруте БПЛА. В случае, если движение осуществляется по участку оживленного судоходства, как правило, ледовая обстановка уточняется по данным ранее прошедших маршрутов и встречных судов и является понятной судоводителю.

В условиях обеспеченности судоводителя актуальными спутниковыми снимками видимого диапазона, не перекрытыми облачностью, радиолокационными снимками с высоким уровнем контрастности, не искаженным процессами таяния льда и снега, а также ледовыми картами высокого разрешения — применение БПЛА также является избыточным.

В случаях недообеспеченности спутниковой информацией, низкой информативности спутниковой информации, движения по маршруту низкой интенсивности судоходства в редко посещаемых зонах, движения в зонах, характеризующихся опасными ледяными образованиями, движения в период активной динамической перестройки структуры ледяного массива и т. п. актуальность ледовой разведки ближней зоны существенно повышается и зачастую становится определяющей.

Как показывает практика, наибольшая востребованность ледовой разведки ближней зоны возникает в весенний и осенний периоды [11].

Общая тактика применения БПЛА сводится к своевременной отправке беспилотного разведчика в сектор поиска оптимального маршрута, ледовая информация о котором недостаточна или отсутствует. Вышедший в сектор поиска БПЛА осуществляет обследование назначенного района, оперативно поставляя информацию на борт носителя. При необходимости полетное задание БПЛА необходимо менять непосредственно в полете для сокращения и перенаправления сектора поиска на основе поступающих оперативных данных.

Размеры исследуемой зоны, вариативность маршрута и необходимая длительность проведения разведки формируют минимально достаточный параметр длительности эффективного барражирования БПЛА — 7–8 часов, что позволит судноносителю пройти до 80–100 миль с высокой степенью избирательности движения, а значит, и оптимальной эффективностью. В зависимости от фактических ледовых условий, барражирующий БПЛА, выработавший топливный ресурс, возвращается на борт носителя или сменяется на другой в зоне разведки.

Особо важным фактором ледовой авиаразведки является высотный профиль полета. Классическая авиаразведка проводится на высотах 150–250 м, что позволяет получать четкую информацию о структуре ледяного массива, торосистости, сплошности и наличии разрывов и разводий [3]. Также необходимо учитывать фактор типичной для высоких широт нижней границы облачности (НГО), составляющей 200–300 м. Подразумевается не столько непрерывный облачный покров, сколько отдельные чередующиеся образования и полосы тумана.

В то же самое время поддержание устойчивого канала связи при работе в загоризонтной области требует подъема БПЛА на высоту прямой видимости.

Высотный профиль БПЛА при проведении ледовой разведки напоминает серию снижений на малые высоты с последующим выходом на эшелон связи, передачей информации, уточнением/получением нового полетного задания (рис. 2). Частично данный аспект можно нивелировать применением бортовой РЛ-станции на БПЛА, но на этом вопросе отдельно остановимся далее.

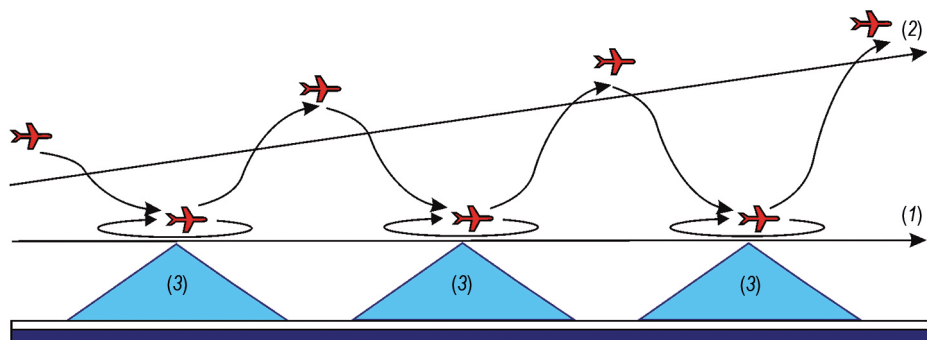


Рис. 2. Упрощенная схема высотного профиля полета БПЛА при осуществлении ледовой разведки загоризонтной области: (1) — фактическая высота проведения ледовой разведки; (2) — нижняя граница зоны эффективного обмена данными; (3) — области ледовой разведки, выполняемой согласно текущим полетным заданиям

Fig. 2. Simplified scheme of the altitude profile of UAV flight during ice reconnaissance of the over-horizon zone: (1) — actual altitude of the ice reconnaissance; (2) — the low edge of the effective data transmission zone; (3) — the area of the ice reconnaissance conducted according to the estimated flight tasks

Необходимость многократно менять высоту во время ледовой разведки накладывает дополнительные требования по топливу и времени барражирования. Указанное ранее значение 7–8 часов установлено с учетом этих требований и практической эффективности ледовой разведки.

Для обеспечения сменяемости БПЛА в зоне ледовой разведки минимальный комплект комплекса должен состоять из 2 единиц (аварийность не учтена).

Метеорологические условия

В целом типовые метеорологические условия при проведении ледовой разведки ближней зоны можно охарактеризовать как критические или предельно допустимые. Тем не менее опыт проведения ледовых разведок с помощью вертолета Ми-8 и опытных БПЛА (в экспедициях ААНИИ 2013–2025 гг.) однозначно показывает, что метеорологический коридор применимости БПЛА гораздо шире, чем у тяжелой пилотируемой машины.

Общие типовые параметры метеорологического коридора применимости для БПЛА: температура воздуха в приповерхностном слое до -25°C , температура воздуха на высоте эшелона связи до -40°C , скорость ветра 7–15 м/с, порывы ветра до 20 м/с, влажность воздуха 30–95 %.

Особое внимание необходимо уделить метеорологическим эффектам, проявляющимся при использовании специфического высотного профиля полета. Многократное пересечение нижней границы облачности (НГО) и выход в приповерхностный слой, характеризующий повышенной влажностью, неизбежно приводит к оледенению БПЛА.

Полеты всех известных типов БПЛА рассматриваемого класса осуществляются с использованием барометрического высотомера, интегрированного в автопилот. В целях удешевления и экономии массы используются не термокомпенсированные датчики. Общая длительность полета, многократное изменение высоты и значительные величины барической тенденции за 3 и 6 часов в условиях высоких широт

приводят к быстрой потере точности высотной привязки автопилота и высокой вероятности потери БПЛА на очередном снижении.

Эксплуатация ДВС с сухим картером, типичных для данного класса БПЛА, требует поддержания топливно-масляной смеси в особом температурном режиме, исключающем образование ледяных кристаллов в топливе и его температурной сепарации на отдельные фракции.

Электронное оборудование БПЛА требует особой защиты от резко отрицательных температур и от солевых взвесей в приповерхностном слое.

Специфические условия применения формируют ряд требований к платформе БПЛА: температурный диапазон применения до -40°C , система пассивной и активной борьбы с оледенением, автоматическая система коррекции высотомера, защищенность от солевых взвесей, устойчивое автопилотирование при скоростях ветра до 20 м/с.

Не менее важной является необходимость оснащения БПЛА комплектом метеорологических датчиков, позволяющих оперативно контролировать критические параметры среды, использовать их данные для автоматической корректировки плана полета и оперативно предоставлять эту информацию на носитель.

Возвращение на судно-носитель

В отличие от отработанной и эффективной технологии катапультного запуска краеугольным камнем применимости БПЛА с судна-носителя является процесс посадки на носитель. Для начала рассмотрим особенности судна-носителя. Первым затруднением является необходимость совершения посадки БПЛА без остановки судна, т. к. ледоколу в составе каравана или при буксировке судна вплотную крайне нежелательно менять режим движения. Допустимо частичное снижение хода, но и оно не всегда возможно. Более того, невозможен выход судна на оптимальный курсовой угол относительно ветра для приема БПЛА.

На первый взгляд логичным было бы применение в таких условиях БПЛА, способного совершать вертикальную посадку. К сожалению, в условиях реального движения ледокола, случайного направления ветра относительно его курса, значительных турбулентных завихрений, вызываемых бортом и надстройками, вертикальная посадка технически невозможна. БПЛА для совершения вертикальной посадки необходимо погасить горизонтальную скорость и на некоторое время перейти в режим висения, в этот момент аппарат крайне чувствителен к минимальным воздушным потокам, которые в реальных условиях являются критическими.

По этой же причине штатные парашютные способы посадки, используемые на БПЛА рассматриваемого класса, несостоятельны и непригодны к применению. В том числе и вариант парашютной посадки на лед вдоль борта с последующим подбором неприемлем, ввиду фактически редкого наличия гладкого прочного льда в районе движения ледокола, пригодного для высадки техника (и необходимости остановки).

Совершить посадку в таких условиях можно, только сохраняя значительную горизонтальную скорость, тяговооруженность и возможность активного маневрирования для ухода на второй заход.

Решением вопроса является сетчатый кинетический приемник мобильного исполнения, легко монтируемый и ориентируемый на свободных участках палубы или надстроек ледокола при условии обеспечения свободного от помех просвета (окна пролета БПЛА). Задача такого приемника сводится к устойчивому приему БПЛА,

неразрушающему гашению кинетической энергии и исключению накопления потенциальной энергии и возможности обратного выброса. Дополнительно кинетический приемник должен обеспечивать защиту БПЛА от контакта с элементами палубного оборудования носителя на финальном этапе торможения.

Осведомленный читатель резонно может заметить, что на большинстве крупных ледоколов имеется взлетно-посадочная площадка (ВПП) для приема вертолета, являющаяся удобным местом размещения кинетического приемника БПЛА. В данном случае вновь возникают эксплуатационные нюансы и ограничения. Если на площадке находится вертолет, то подход БПЛА к площадке запрещен по соображениям безопасности, если площадка пуста, но задействована бортовая аппаратура обеспечения полетов вертолета, ВПП закрыта для любых других задач. В качестве дополнительного примера приведем особенность эксплуатации ВПП ледоколов проекта 22220 (головной «Арктика»): в случае буксировки судна вплотную выход на ВПП строго запрещен по соображениям безопасности, при этом в режиме буксировки вплотную такие ледоколы проводят значительную часть ходового времени.

Исходя из вышеописанного, к комплексу БПЛА ледовой разведки ближней зоны выдвигается требование наличия штатного мобильного устройства приема БПЛА с высокими кинетическими параметрами. Сам же БПЛА должен быть оснащен системой First Person View (FPV), позволяющей на финальном этапе полета осуществлять точное наведение на кинетический приемник. Вариант автоматической посадки БПЛА на движущееся судно в рассматриваемых условиях на существующем уровне технического развития невозможен.

Ледовая информация и бортовое оборудование БПЛА

Процесс ледовой разведки в ближней зоне фактически сводится к выносу специальных ледовых наблюдений с борта судна¹ в загоризонтную область с функциональными ограничениями, обусловленными техническими возможностями БПЛА.

Основным потребителем результатов ледовой разведки является судоводитель, что определяет первое требование к оперативной ледовой информации: все поступающие данные должны иметь интуитивно понятный, человекочитаемый вид и не нуждаться в постобработке. Для снижения нагрузки на оператора БПЛА полетные данные и данные дополнительных регистрирующих систем должны представляться в виде отдельного потока и обеспечивать максимальную информированность оператора.

Вся обработка данных должна производиться непосредственно на борту БПЛА, для чего необходимо счетно-вычислительное устройство в качестве ядра системы сбора информации.

Для обеспечения устойчивого двухстороннего канала обмена данными БПЛА должен иметь соответствующую систему связи, обеспечивающую 1,5-кратное перекрытие типовой дальности проведения работ (~120 миль).

В различные сезоны методы наблюдения ключевых характеристик морского льда несколько отличаются, в связи с чем БПЛА должен иметь полезную нагрузку модульного типа, различные комбинации которой могут использоваться применительно к текущим условиям и задачам.

¹ Производство специальных судовых ледовых наблюдений: Методическое пособие. Т. А. Алексеева (ред.). СПб.: ААНИИ; 2025. 46 с.

Основные характеристики ледяного покрова, необходимые для оперативного планирования избирательного маршрута движения:

- общая сплоченность ледяного покрова;
- частная сплоченность отдельных видов льда;
- торосистость;
- нарушения сплошности (разрывы, разводья и полыньи);
- опасные ледовые явления (сжатия, ледяные реки);
- опасные ледяные образования (айсберги, стамухи).

Все вышеуказанные параметры относительно легко идентифицируются на отдельных оптических изображениях и их сериях при условии достаточной видимости и разрешения снимков. Принимая во внимание ранее описанный высотный профиль полета и метеорологические аспекты применимости, приходим к заключению о необходимости применения 3 независимых камер:

- управляемая камера кругового обзора среднего разрешения для площадных оценок с максимально возможных по условиям видимости и разрешения высот 0,3–1,5 км;
- АФС-камера высокого разрешения и с возможностью съемки в условиях недостаточной освещенности для получения детализированных снимков и коротких фотопланов с типовых высот 150–300 м;
- ИК-камера среднего разрешения для получения плановых снимков разрывов и разводий в темное время суток с типовых высот 150–300 м.

Снимки, получаемые при каждом виде съемки, должны иметь пространственно-временную привязку, указатель масштаба снимка в метрах, указатель на географический север, указатель направления на судно-носитель и — в случае обзорных фотопланов — пометку генерального курса судна.

Несомненно, более удобным инструментом для ледовой разведки является компактная РЛС, размещенная на борту БПЛА. Способность проводить наблюдения сквозь облачный слой в широком диапазоне высот, отсутствие зависимости от освещенности делают такой инструмент выгодным с точки зрения упрощения конфигурации полетного задания.

В настоящее время известна перспективная РЛС бокового обзора, пригодная для установки на БПЛА рассматриваемого класса. РЛС находится в стадии первичных летных испытаний и имеет на данный момент некоторые критические недостатки, обнуляющие ее применимость в оперативной ледовой разведке. Основным недостатком является отсутствие преобразования результатов съемки в человекочитаемый вид. Фактически РЛС передает недешифрованный сигнал, нуждающийся в сложной постобработке, чем, с одной стороны, снижает пропускную способность канала передачи данных БПЛА–носитель, а с другой стороны, не обеспечивает необходимую ледово-информационную оперативность. Все же существует определенная надежда на доведение разработчиком этого РЛ-комплекса до состояния уверенной применимости.

Бортовая РЛ-система на платформе БПЛА является высоко перспективным и крайне востребованным элементом ледовой разведки.

Дополнительно необходимо отметить сезонную применимость данных РЛ-наблюдений, этот аспект касается любых РЛ-систем. В начале сезона активного таяния морских льдов, в результате появления на поверхности льда большого количества снежиц (луж талой воды) и масс напитанного водой снега контрастность снимков РЛ-диапазона снижается до неприемлемого для уверенной дешифровки уровня.

Возможным является применение в составе оборудования БПЛА лидарных сканеров, но и их применимость имеет схожие с РЛ-технологией сезонные затруднения ввиду значительного рассеяния лазерного пучка на мокрых поверхностях и частичной зависимости от метеоусловий. Прямая зависимость разрешения сканирования от скорости перемещения делает лидарные системы лишь ограниченно пригодными.

В качестве предварительного итога можно заключить, что в настоящее время проводить эффективную ледовую разведку ближней зоны возможно в светлое время суток и в условиях ограниченной освещенности, но для применения в ночное время БПЛА пока недостаточно оснащены технически.

Тем не менее разработка и внедрение в серию комплексов БПЛА, сочетающих в себе вышеописанные специфические характеристики, значительно расширит навигационные возможности при проведении большинства морских операций в ледовых условиях, позволит повысить безопасность ледового плавания и, что важно, экономическую эффективность.

Основные направления применения

На первый взгляд рассматриваемый комплекс БПЛА имеет узкоспециализированное назначение и может быть востребован в ограниченном количестве в отрасли арктического судоходства, но в реальности это не соответствует действительности.

Мобильный беспилотный комплекс, сочетающий в себе уникальные околокритические характеристики применимости в условиях Заполярья и замерзающих морей, может использоваться для оперативного решения широкого спектра задач в различных отраслях.

В качестве примера приведем типовые сценарии расширенного применения БПЛА в области организации судоходства (см. таблицу).

Таблица

Типовые сценарии применения БПЛА

Table

Typical scenarios of UAV application

БПЛА — судно	БПЛА — акватория	БПЛА — платформа
Длительное (до 8 часов) оперативное освещение ледовой обстановки в при- и загоризонтной области маршрута следования судна, поиск опасных ледяных образований: – оценка сплоченности, – оценка торосистости, – оценка областей сжатия, – поиск маршрута, – разведка маршрута, – контроль опасных ледяных образований и явлений	Регулярное освещение ледовой обстановки в пределах заданной акватории с использованием мобильного пункта базирования на берегу: – оценка сплоченности, – оценка торосистости, – слежение за каналом, – разведка маршрутов, – оценка областей сжатия, – контроль опасных ледяных образований и явлений.	Оперативное освещение ледовой обстановки в пределах ближней зоны морской платформы поиск опасных объектов – контроль опасных ледяных образований и явлений, – оценка сплоченности, – оценка торосистости, – поиск оптимального маршрута подхода.

Заключение

Как показывает практика, работы по проектированию и разработке беспилотных систем для арктических условий активно ведутся как крупными производителями, так и небольшими коллективами. В результате с завидной регулярностью появляются

как ограниченно пригодные к специфическим условиям проекты, так и проекты, не выдерживающие критики.

В качестве основной причины неудач авторы данной статьи усматривают неполную осведомленность конструкторских групп и потенциальных заказчиков работ в массиве специфических требований и ограничений применимости БПЛА в реальных условиях Заполярья.

В данной работе четко очерчены основные пункты специфики применения БПЛА для оперативной ледовой разведки и специфические технические требования к беспилотным системам, выработанные на основе имеющегося опыта проведения различного вида работ в Арктической зоне.

ААНИИ является интересантом успешного завершения разработок беспилотных комплексов арктического исполнения и со своей стороны готов предоставить техническую и методическую поддержку в рамках совместных научно-технических проектов.

Конфликт интересов. У авторов исследования нет конфликта интересов.

Финансирование. Данная работа была поддержана Российским научным фондом, грант № 23-17-00161.

Competing interests. The authors have no conflict of interest to declare.

Funding. We thank the Russian Science Foundation [grant number 23-17-00161] for the financial support of our studies.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Cavalieri D.J., Gloersen P., Cambell W.J. Determination of sea ice parameters with the NIMBUS 7 SMMR. *J. Geophys. Res.* 1984;89:5355–5369.
2. Johannessen O.M., Alexandrov V.Y., Frolov I.Y., Sandven S., Miles M., Bobylev L.P., Pettersson L.H., Smirnov V.G., Mironov E.U., Babich N.G. (eds.). *Polar seas oceanography, remote sensing of sea ice in the Northern Sea Route: studies and applications*. Chichester, UK: Praxis Springer Ltd; 2007. 472 p.
3. Дерюгин К.К., Карелин Д.Б. *Ледовые наблюдения на морях*. Л.: Гидрометиздат; 1954. 168 с.
4. Гурлев И.В., Макоско А.А., Малыгин И.Г. Анализ состояния и развития транспортной системы Северного морского пути. *Арктика: экология и экономика*. 2022;12(2):258–270. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-2-258-270>
Gurlev I.V., Makosko, A.A., Malygin, I.G. Analysis of the state and development of the transport system of the Northern Sea Route. *Arktika: ekologiya i ekonomika = Arctic: Ecology and Economy*. 2022;12(2):258–270. (In Russ). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2022-2-258-270>
5. Афанасьева Е.В., Сероветников С.С., Алексеева Т.А., Гришин Е.А., Солодовник А.А., Филиппов Н.А. Применение данных судового телевизионного комплекса в оперативном гидрометеорологическом обеспечении морской деятельности на примере картирования толщины ледяного покрова в Арктике. *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2022;68(2):96–117. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-96-117>
Afanasyeva E.V., Serovetnikov S.S., Alekseeva T.A., Grishin E.A., Solodovnik A.A., Filippov N.A. Mapping the thickness of sea ice in the Arctic as an example of using data from a ship-based television complex for operational hydrometeorological support of maritime activities. *Problemy Arktiki i Antarktiki = Arctic and Antarctic Research*. 2022; 68(2):96–117. (In Russ). <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2022-68-2-96-117>
6. Сероветников С.С., Миронов Е.У., Алексеева Т.А., Афанасьева Е.В., Ковчин М.И., Распределенная система оперативных судовых инструментальных наблюдений за ледовыми и метеорологическими параметрами в Арктическом бассейне и замерзающих морях. *Морское оборудование и технологии*. 2021;3(28):90–102.

- Serovetnikov S.S., Mironov E.U., Alekseeva T.A., Afanas'eva E.V., Kovchin M.I. Distributed system of operational ship instrumental observations of ice and meteorological parameters in the Arctic basin and freezing seas. *Morskoe oborudovanie i tehnologii = Marine equipment and technology*. 2021;3(28):90–102. (In Russ.).
7. Crowe W., Davis K.D., la Cour-Harbo A., Vihma T., Lesenkov S., Eppi R., Weatherhead E.C., Liu P., Raustein M., Abrahamsson M., Johansen K.-S., Marshall D. *Enabling Science use of Unmanned Aircraft Systems for Arctic Environmental Monitoring, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP)*. Oslo: Narayana Press; 2012. 30 p.
 8. Andrade F.A.A., Storvold R., Johansen T.A. Autonomous UAV surveillance of a ship's path with MPC for maritime situational awareness. *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. Miami, FL, USA; 2017. P. 633–639. [https://doi.org/ 10.1109/ICUAS.2017.7991361](https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991361)
 9. Бибиков М.Ю., Никитин В.А., Смирнов В.В. Дронная разведка оперативно-ледовой обстановки при движении по Северному морскому пути. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2023;5-1(80):43–49.
Bibikov M.Yu., Nikitin V.A., Smirnov V.V., Ground reconnaissance of the operational-ice situation when moving along the Northern Sea Route. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2023;5-1(80):43–49. (In Russ.).
 10. Бузин И.В., Онищенко Д.А. К вопросу применимости и эффективности отдельных элементов системы управления ледовой обстановкой при реализации проектов освоения арктического шельфа. *Арктика: экология и экономика*. 2024;14(2):205–216. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-2-205-216>
Buzin I.V., Onishchenko D.A. Issues of applicability and effectiveness of individual elements of the ice management system in the implementation of Arctic shelf development projects. *Arctic: Ecology and Economy*. 2024;14(2):205–216. (In Russ). [https://doi.org/ 10.25283/2223-4594-2024-2-205-216](https://doi.org/10.25283/2223-4594-2024-2-205-216)
 11. Афанасьева Е.В., Алексеева Т.А., Соколова Ю.В., Демчев Д.М., Чуфарова М.С., Быченков Ю.Д., Девятаев О.С. Методика составления ледовых карт ААНИИ. *Российская Арктика*. 2019;7:5–20. <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10071>
Afanasyeva E.V., Alekseeva T.A., Sokolova J.V., Demchev D.M., Chufarova M.S., Bychenkov Yu.D., Devyataev O.S. AARI methodology for sea ice charts composition, *Russian Arctic*. 2019;7:5–20. (In Russ). <https://doi.org/10.24411/2658-4255-2019-10071>