

Научная статья

УДК 551.46.09

DOI: 10.24412/2658-4255-2024-3-05-14



EDN: XNCJWI

Для цитирования:

Вялышев А.И., Тузов Ф.К., Стоянов В.В., Долгов А.А., Полторанов Д.В. Система контроля химического и радиоактивного загрязнения параметров морской среды в районах расположения подводных потенциально опасных объектов // Российская Арктика. 2024. Т. 6. № 3. С. 05-14. <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-3-05-14>

Получена: 14.05.2024
Принята: 12.07.2024
Опубликована: 29.07.2024

For citation:

Vyalyshev A.I., Tuzov F.K., Stoyanov V.V., Dolgov A.A., Poltoranov D.V. The system of control chemical and radioactive pollution of marine environment parameters in the location areas of potentially hazardous underwater objects. Russian Arctic, 2024, vol. 6, no. 3, pp. 05-14. (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-3-05-14>

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Финансирование.

Исследование не имело спонсорской поддержки

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ХИМИЧЕСКОГО И РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОЙ СРЕДЫ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ**

А.И. Вялышев¹, Ф.К. Тузов^{1*} , В.В. Стоянов², А.А. Долгов¹, Д.В. Полторанов¹

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), Москва, Россия

² Ситекрим, ООО, Московская область, Россия

E-mail: *fedor-tuz@mail.ru

Аннотация

Описана система долговременного оперативного экологического мониторинга состояния водной среды в местах расположения подводных потенциально опасных объектов в условиях ледовой обстановки в арктических морях Российской Федерации. Система основана на использовании автономных донных станций, измеряющих уровни радиационного и химического загрязнения окружающей среды и передающих информацию через радио- и гидроакустический каналы связи. Помимо автономной донной станции система может включать в себя сбрасываемые радиогидроакустические буи, всплывающие радиобуи и подледный автономный всплывающий антенный приемопередающий блок для вывода на поверхность морского льда антенны радиопередатчика.

Предполагается два варианта установки системы с различными алгоритмами работы, в том числе и периодическая передача информации по запросу. Описаны преимущества и недостатки возможных каналов связи. С учетом опыта зарубежных разработок обоснована возможность применения беспилотных летательных аппаратов, как средства доставки радиогидроакустических буйев и собранных системой данных. Предусмотрен аварийный режим работы системы при обнаружении превышения допустимых уровней радиационного и химического загрязнения с незамедлительной передачей сигнала по спутниковому каналу связи тревоги в удаленный центр мониторинга и принятия решений.

Ключевые слова: подводный потенциально опасный объект, экологический мониторинг, Карское море

THE SYSTEM OF CONTROL CHEMICAL AND RADIOACTIVE POLLUTION OF MARINE ENVIRONMENT PARAMETERS IN THE LOCATION AREAS OF POTENTIALLY HAZARDOUS UNDERWATER OBJECTS

A.I. Vyalyshev¹, F.K. Tuzov^{1*} , V.V. Stoyanov², A.A. Dolgov¹, D.V. Poltoranov¹

¹ All-Russian Research Institute for Civil Defence of the EMERCOM of Russia (the Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia

² Seatechrim LLC, Moscow region, Russia

E-mail: *fedor-tuz@mail.ru

Abstract

The designed system for long-term operational environmental monitoring of aquatic environment at the locations of r potentially hazard underwater

objects in sea ice conditions in the Arctic seas of the Russian Federation is described. The system based on the autonomous bottom stations that measure levels of radiation and chemical pollution of the environment and transmit information through radio and hydroacoustic communication channels. In addition to the autonomous bottom station, the system may include dropping radiosonobuoys, floating radio buoys and an under-ice autonomous floating antenna transmitting unit for bringing the radio transmitter antenna to the sea ice surface.

There are two options for installing the system with different operating algorithms, including periodic transmission of information upon request. The advantages and disadvantages of possible communication channels are described. Taking into account the experience of foreign developments, the possibility of using unmanned aerial vehicles as a means of delivering radiosonobuoys and data, collected by the system, is justified. An emergency mode of operation of the system is provided when an excess of permissible levels of radiation and chemical contamination is detected with immediate transmission of a signal via a satellite alarm communication channel to monitoring and decision-making center.

Keywords: potentially hazard underwater object, environmental monitoring, Kara Sea

Введение

В соответствии с постановлением правительства Российской Федерации от 10 апреля 2007 №219 мониторинг морских вод осуществляется для своевременного выявления и прогнозирования развития негативных процессов, влияющих на качество воды в водных объектах и их состояние, разработки и реализации мер по предотвращению негативных последствий этих процессов. К объектам, оказывающим негативное воздействие на воды относятся подводные потенциально опасные объекты (ППОО), а именно: суда, иные плавсредства, технические средства, боеприпасы, а также элементы оборудования, установки, полностью или частично погруженные в воду, содержащие радиоактивные, химические, отравляющие, взрывчатые и другие опасные вещества.

Как следует из опубликованных данных, основная масса ядерно- и радиационно-опасных подводных объектов сосредоточена в арктических морях Российской Федерации. Наиболее подробно затопленные ядерно- и радиационно-опасные объекты, затонувшие и затопленные в арктических морях, описаны в работе [1].

Основные районы затопления твердых радиоактивных отходов: Новоземельская впадина; залив Седова; залив Ога; залив Цивольки; залив Степового; залив Абросимова; залив Благополучия и залив Течений [1].

Для предупреждения утечек опасных веществ из подводных потенциально опасных объектов (ППОО), необходимо определить начало утечки при помощи технических средств.

Технические средства, необходимые для работы с подводными потенциально опасными объектами можно разделить на две группы:

- технические средства для мониторинга текущего состояния подводного потенциально опасного объекта;
- технические средства для поиска, обследования и контроля состояния подводного потенциально опасного объекта во время проведения подводных работ с объектом.

Конечной целью мониторинга является устранение возможной утечки, т.е. либо подъем объекта, либо его капсулирование, либо другие действия, исключающие развитие утечки. Это достаточно затратные мероприятия, предполагающие большое количество контрагентов и длительное время подготовки (пример АПЛ «Комсомолец») [2]. Пока возможность утечки не устранена, необходимо проводить постоянный мониторинг состояния подводного потенциально опасного объекта.

Средства контроля параметров окружающей среды

Мониторинг подводных потенциально опасных объектов, представляющих экологическую опасность, основан на постоянном контроле загрязнений окружающей водной среды в месте расположения опасного объекта и передачи информации на берег для принятия соответствующих решений. Для получения технических данных используются автономные донные станции, разработанные в ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) совмест-

но с ООО «Ситекрим»¹. Необходимо отметить, что западными исследователями также разрабатываются подобные донные станции. В частности, в работе [3] описана спроектированная автономная донная станция, оснащенная гамма-спектрометром, рассчитанная для постановки на 1 год. После истечения срока постановки станция всплывает на поверхность и передает накопленные данные через спутниковую сеть ARGO. В европейском союзе в 2021 году запущен проект RAMONES [4-5], направленный на разработку технических средств (автономных подводных аппаратов, донных станций, систем передачи данных) для мониторинга гамма излучения в акватории.

Автономные донные станции представляют собой устройства, устанавливаемые на дне вблизи ППОО (рис. 1).

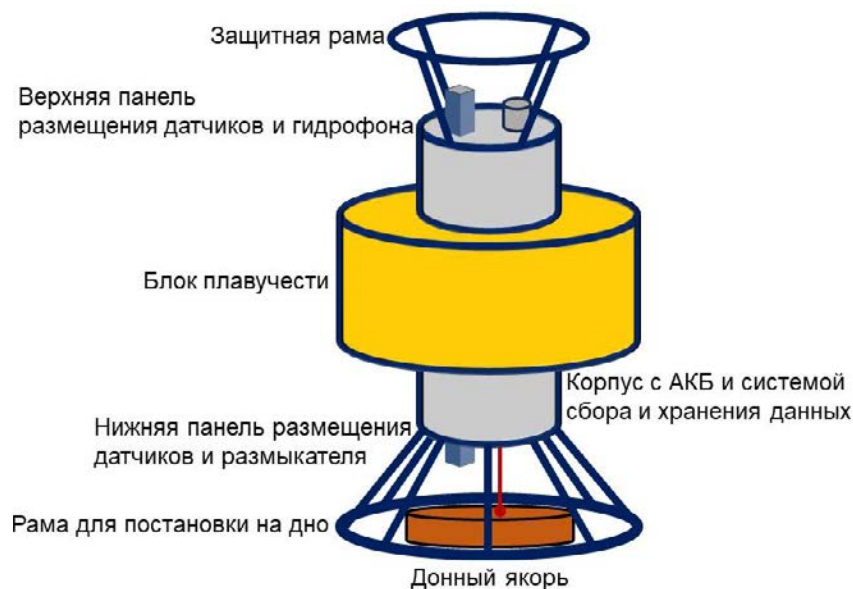


Рисунок 1. Схема автономной донной станции

Разработанная донная станция имела следующие технические возможности:

- мониторинг гамма-квантов в морской среде;
- мониторинг повышенного уровня ионов отдельных химических элементов;
- программируемые перед постановкой параметры мониторинга и установление различных порогов срабатывания как с помощью персонального компьютера, так и дистанционно по каналам связи;
- хранение результатов мониторинга во внутренней памяти;
- автономное электропитание;
- всплытие на поверхность акватории при выработке сигнала о технической неисправности или при получении команды на всплытие по гидроакустическому каналу;
- передача информации в центр мониторинга.

Продолжительность функционирования на позиции без изменения своих основных параметров – 24 месяца. Станция устойчива к подводным течениям со скоростями до 2 м/с. Срок службы автономной донной станции – 10 лет. Диапазон рабочих температур от -10°C до $+35^{\circ}\text{C}$ при влажности 98%.

Основная проблема функционирования такой системы – передача информации о начавшемся загрязнении окружающей среды на береговой приемный пункт, особенно при наличии ледяного покрова. Первая система мониторинга, предложенная в 2004 году, работала следующим образом. При достижении установленного порогового уровня загрязнений срабатывал размыкатель, донная станция с положительной плавучестью всплывала на поверхность, передавала накопленную информацию по спутниковому каналу связи системы «Iridium» и далее в центр мониторинга. При таком режиме работы должен отсутствовать ледяной покров. Для этого при постановке станции на дежурство, учитывался календарь развития ледового покрова для данного района с соответствующей задержкой времени всплытия [6].

Также была разработана автономная донная станция для передачи информации через ледовый покров имеющей в своем составе т.н. выносную спутниковую антенну с GPS и световым маяком². Система представляет собой автономный всплывающий

¹ Патент № 2344962 РФ. Автономная буйковая придонная станция / А.И. Вялышев, В.В. Стоянов., О.В. Степанец, О.А. Парамонова, А.Н. Плишкин. 2007.

² Патент № RU 136414U1 РФ. Универсальный буй для мониторинга акваторий, покрытых льдом / А.И. Вялышев В.А. Колесов, В.Г. Голивец, В.В. Стоянов, М.Ю. Платонов, В.В. Ульяновский, И.В. Белоусено, В.М. Добров. 2013.

антенный приемо-передающий блок, 3-х метровая антенна которого может проходить кристаллический лед температурой до -24C° и толщиной до 2,5 м, с выносом на поверхность антенны спутникового модема системы «Iridium» с световым маяком, для приема-передачи данных и команд по гидроакустическому каналу связи с донной станцией (рис. 2, рис. 3).

При получении сигнала о превышении установленного порога всплывающий антенный блок поднимается на поверхность воды и передает информацию по спутниковому каналу связи. При наличии ледового покрова система плавучести антенного блока обеспечивает достаточный упор антенны, вращение которой позволяет пройти всю толщу ледяного покрова и вынести на поверхность верхнее антенное звено. При выходе конца бура на поверхность льда начинает работать спутниковый канал связи, а также гидроакустический канал связи с оставшейся на дне станцией. Конструкция позволяет дополнительно установить радиоантенну.

Перечисленные системы имели недостаток, связанный с тем, что они работали в режиме оповещения о начавшейся утечке и не имели возможности давать информацию о текущем состоянии объекта, т.е. выдавать информацию периодически или по запросу от оператора.

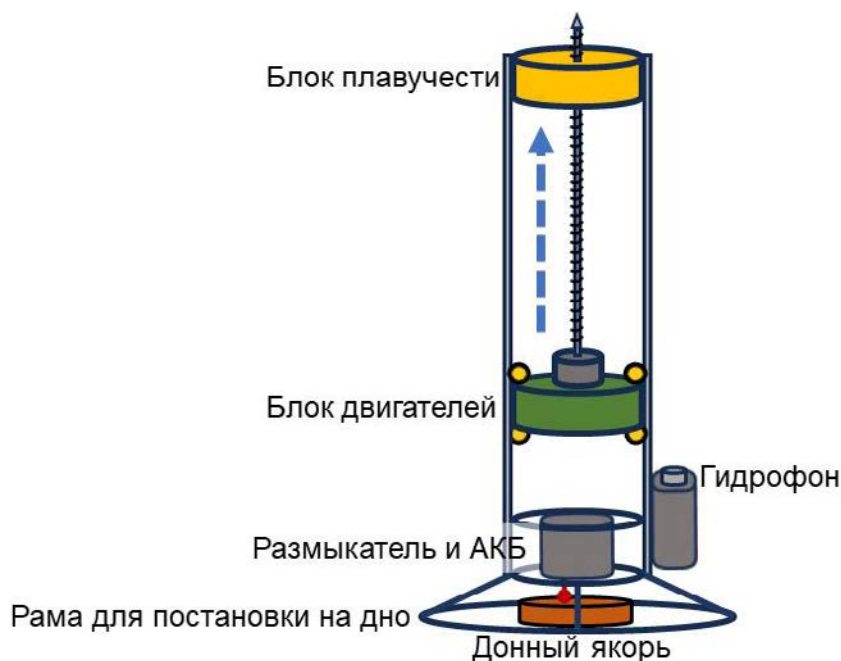


Рисунок 2. Схема подледного автономного всплывающего антенного приемо-передающего блока

Системы периодической связи с автономной донной станцией

Следующие разработки систем мониторинга включали возможность передачи запроса на донную станцию и ответную передачу текущей информации по различным каналам связи без всплытия донной станции на поверхность, а также передачу информации с заранее заданной периодичностью [7]. При этом каналами передачи информации могли служить донная кабельная линия, гидроакустический и последующий радиоканал (рис. 3 А, Б).

Система с передачей информации по кабелю была построена на оптоволоконном кабеле и была предназначена для сбора данных от донных станций и других погруженных аналитических измерительных модулей, а также АНПА, дистанционного управления режимами и обеспечения электропитанием подводных модулей, разнесенных на значительные расстояния, в том числе в условиях акваторий покрытым льдом [8]. По назначению системы и масштабам работ при изготовлении и постановке в море наиболее близкими аналогами являются кабельные линии Канадских, так называемых, подводных лабораторий мониторинга океана «Venus» и «Neptune Canada», установленных на западном побережье Канады [2].

Преимущества оптоволоконного кабеля (ОВК):

1. Широкая полоса пропускания - обусловлена чрезвычайно высокой несущей частотой. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания является одним из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации.

2. Малое затухание светового сигнала и небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более.

3. Низкий уровень шумов в волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу пропускания, путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода.

4. Высокая помехозащищенность - невосприимчивость к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования.

5. Малый вес и объем.

6. Удаленное электропитание. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако, в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом. Однако оптоволоконный кабель имеет и некоторые недостатки:

7. Сложность монтажа (при установке разъемов необходима микронная точность, от точности скола стекловолокна и степени его полировки сильно зависит затухание в разьеме).

8. Использование оптоволоконного кабеля требует специальных оптических приемников и передатчиков, преобразующих световые сигналы в электрические и обратно, что порой существенно увеличивает стоимость сети в целом.

9. Оптоволоконные кабели допускают разветвление сигналов (для этого производятся специальные пассивные разветвители (couplers) на 2—8 каналов), но, как правило, их используют для передачи данных только в одном направлении между одним передатчиком и одним приемником. Ведь любое разветвление неизбежно сильно ослабляет световой сигнал.

10. Оптоволоконный кабель менее прочен и гибок, чем электрический. Типичная величина допустимого радиуса изгиба составляет около 10 – 20 см, при меньших радиусах изгиба центральное волокно может сломаться.

11. Чувствителен оптоволоконный кабель и к ионизирующим излучениям, из-за которых снижается прозрачность стекловолокна, то есть увеличивается затухание сигнала.

12. Резкие перепады температуры также негативно сказываются на нем, стекловолокно может треснуть.

При проектировании системы принимается, что все подводные измерительные модули имеют автономную конструкцию и подключаются к магистрали с помощью кабельных отводов. Подключение модулей может осуществляться как по медным проводникам, так и по волоконно-оптическим каналам. Из вышесказанного следует, что применение ОВК оправдано для передачи информации на большие расстояния (десятки и сотни километров). При малых дальностях целесообразно применение обычных подводных кабелей.

Помимо передачи по кабельной линии была рассмотрена возможность передачи информации от донных станций на берег без использования кабеля по гидроакустическому каналу. Система со связью по гидроакустическому каналу обладает рядом преимуществ, основное из которых - отсутствие необходимости прокладывать под водой линии связи, что позволяет оперативно разворачивать и снимать измерительные модули, а также менять конфигурацию системы с борта судна. Однако гидроакустическая связь имеет малую пропускную способность. Скорость обмена информацией ограничивается невысокой скоростью распространения звука в воде (~1,5 км/с) и явлением «затягивания» во времени принятых сигналов, происходящих в точку приема по нескольким лучам в различное время вследствие рефракции звука [9]. Водная среда представляет собой стратифицированный волновод, т.е. имеет место изменение ее параметров с глубиной, а, следовательно, и изменение скорости звука. Поэтому звук под водой распространяется не прямолинейно, а по достаточно сложным криволинейным траекториям.

Основные захоронения ППО в Российской Федерации находятся в арктических мелководных морях, поэтому при использовании гидроакустических каналов связи следует учитывать их особенности.

К особенностям, влияющим на скорость передачи информации, относятся:

- значительные доплеровские расширения частотной полосы сигнала (из-за суммирования лучей, пришедших в точку приема, с неодинаковыми доплеровскими смещениями);
- ограниченная полоса частот, пригодная для связи на заданных дальностях;
- продолжительная реверберация;
- рассеяние на поглощающих границах со случайными характеристиками шероховатости.

Краткое перечисление факторов, влияющих на распространение акустических волн

под водой, характеризует сложность процесса передачи и восстановления гидроакустических сигналов. Тем не менее, на сегодняшний день гидроакустический канал представляет собой основное средство передачи информации между подводными абонентами, как при аналоговой, так и при цифровой связи. В большинстве случаев номинальная скорость передачи данных по гидроакустическому каналу составляет 14-28 кБит. В зависимости от дальности связи и конкретных условий использования рабочая частота может составлять 15-50 кГц.

В настоящее время на рынке имеется большое число гидроакустических модемов, которые, в общем, представляют собой электронный модуль, к интерфейсам которого подключается источник информации и гидроакустическая антенна (гидрофон). Для того, чтобы снизить влияние таких искажающих приемный сигнал факторов, как рефракция звука при распространении, реверберация, рассеяние и др. разрабатываются различные технологии модуляции излучаемого сигнала.

В силу использования широкополосных несущих с монотонным расширением спектра модемы способны функционировать в условиях сильных шумов, высоких уровней реверберации и динамики свойств канала связи. Модемы способны передавать данные с высокой скоростью, при этом надежно удерживать акустическое соединение с удаленным абонентом. Максимальные значения номинальных скоростей передачи данных составляют от 6,5 до 56 кБод (в зависимости от модели модема и диапазона рабочих дальностей связи). Эффективные скорости передачи данных в каналах практического интереса обычно составляют 20-70% от соответствующих номинальных значений скорости (в зависимости от избыточности данных, необходимых для коррекции ошибок, а также потерь времени на повторные пересылки невозможных пакетов данных).

Наиболее важным свойством канала данных, основанного на использовании рассматриваемого гидроакустического модема S2C-технологии, является возможность дуплексной передачи встречных потоков данных.

Другим важным свойством высокоскоростного модема является уплотнение трафика в физическом канале за счет заполнения продолжительных пауз ожидания, в частности, пауз, предназначенных на доставку квитанций от удаленного модема об успешной или неуспешной передаче данных. В текущей версии модема для приема квитанций отводится временное «окно» известной длительности. При этом смещение «окна» по оси времени зависит от дальности связи, и благодаря способности модема измерять дальность связи с высокой точностью, это смещение в каждый момент времени является также известной величиной. Таким образом, длительность и расположение «окна» на временной оси являются детерминированными величинами, и любой другой интервал времени, находящийся за пределами «окна», может использоваться для передачи дополнительных данных.

Под уплотнением трафика понимается возможность передачи дополнительных данных за счет усложнения логики обмена, позволяющей повысить эффективность использования предоставляемого ресурса (физического канала связи), в частности, путем заполнения пауз ожидания.

Оценим необходимые параметры гидроакустической связи для передачи информации от измерительных модулей. Объем информации при передаче одного спектра гамма-излучения составляет примерно 500 бит, для одного значения ион-селективного электрода - примерно 260 бит. Дальность устойчивой передачи информации в мелководных морях с использованием современных модемов составляет несколько километров. При большем удалении ППО от получателя информации можно использовать аналогичные донные станции в качестве ретрансляторов. Наиболее перспективным способом передачи информации от ППО получателю для открытой воды следует считать использование летательных аппаратов с радиогидроакустическим буями (рис. 3А).

Сброс буев различного назначения и получение с них данных о параметрах морской среды детально описан в работе [10]. Согласно предложенной в данной статье технологии передача данных на БПЛА осуществляется по стандартам Wi-Fi или LoRa (на частоте 433 МГц), а для связи с береговой станцией предусмотрена спутниковая антенна системы Iridium и антенна сотовой связи стандарта 4G. Также показана возможность автоматической идентификации буя по цветовой маркировке на корпусе и его подъема из воды при помощи БПЛА вертолетного типа. Похожая система предложена в работе [11], однако в отличие от первой она не предполагает подъема и повторного использования буя.

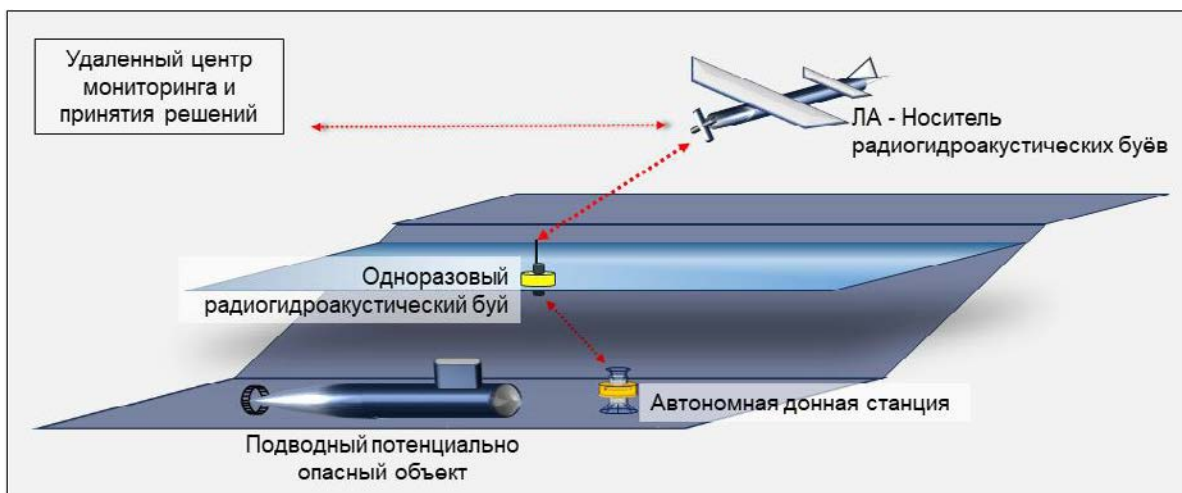
Авторами работы [12] описаны компактные радиобуи «ADMB» для измерения температуры поверхности воды в полыньях и ледяных полях различной сплоченности. Буй сбрасывается с БПЛА самолетного типа. Установленный на бую радиопередатчик

обеспечивает связь с БПЛА для передачи данных на удалении до 5 км на частоте 900 МГц, при этом вес всего буя не превышает 100 грамм.

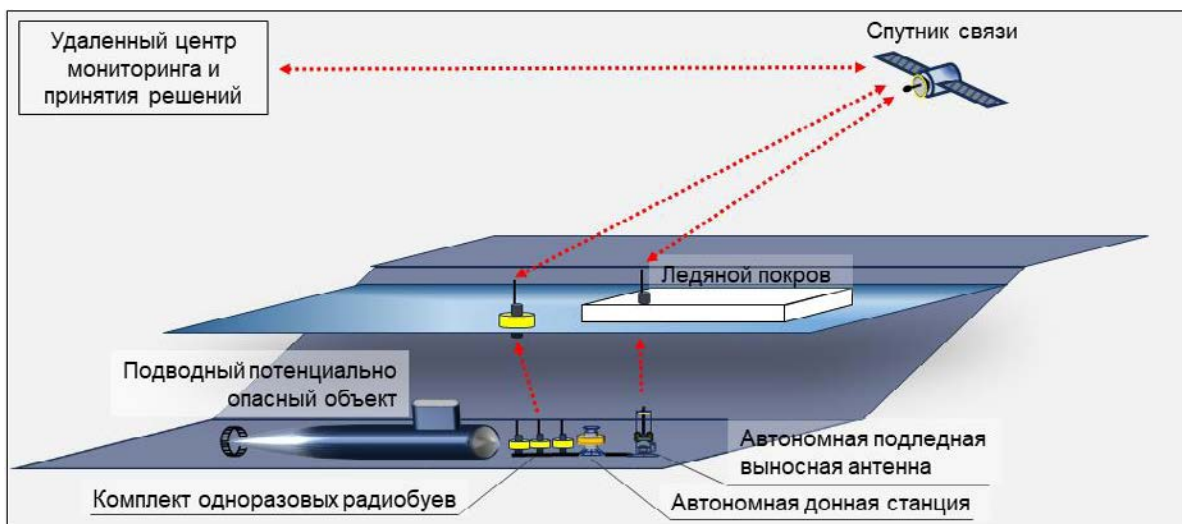
Во всех вышеперечисленных работах применение БПЛА со сбрасываемыми буями позиционируется как безальтернативное, в части дешевизны использования, решение.

Как уже было сказано выше, большинство ППО находятся в арктической зоне Российской Федерации в акватории Карского моря. Поэтому при проектировании беспилотной авиационной системы (БАС), включающей в себя БПЛА с грузовым отсеком, внутри которого находятся сбрасываемые буи, необходимо учитывать характерные климатические условия. Для арктических условий адаптированы грузовые БПЛА российской разработки «Skyf» (ОКБ Авиарешения), «Альтиус-М» (ОКБ им. Симонova) [13], «KAGU-150» (ООО Тайбер), «VRT-300» (КБ ВР-технологии) [14].

Кроме применения летательного аппарата – носителя радиогидроакустических буев рассматривается вариант применения одноразовых всплывающих радиобуев, передающих накопленную информацию по спутниковому каналу связи (рис. 3Б).



А



Б

Рисунок 3. Концептуальная схема вариантов связи и передачи информации между автономной донной станцией и центром принятия решений (мониторинга)

Алгоритмы работы системы

Предлагаемая система имеет следующий алгоритм работы с использованием летательного аппарата:

1. Летательный аппарат (самолет, вертолет, БПЛА) прибывает к месту расположения донной станции, контролирующей ППО, и сбрасывает одноразовый радиогидроакустический буй (рис. 3А);

2. Радиогидроакустический буй активирует антенну и посылает по гидроакустическому каналу запрос об уровнях загрязнений на донную станцию;

3. Получив информацию от донной станции, радиогидроакустический буй ретранслирует ее на летательный аппарат и заканчивает свою миссию;

4. Летательный аппарат возвращается на место базирования, где происходит выгрузка данных и подвеска новых радиогидроакустических буюв.

Преимущества алгоритма заключаются в том, что для открытой воды доставка радиогидроакустических буюв является наиболее быстрой и дешевой. За один вылет летательного аппарата может быть получена информация с целого ряда автономных подводных станций; одноразовый радиогидроакустический буй достаточно дешевое изделие; возможности современных БПЛА позволяют проводить съём информации с достаточно удаленных объектов.

Подобная система связи с подводными аппаратами описана в работе [15]. Авторами данной работы разработан одноразовый радиогидроакустический буй весом 933 грамма, что позволяет использовать БПЛА, в качестве носителя нескольких таких буюв.

Для второго варианта исполнения системы предполагается следующий алгоритм работы:

1. Вместе с донной станцией устанавливается комплект одноразовых всплывающих радиобуюв (рис. 3Б).

2. Через определенный временной интервал, например, 1 раз в месяц буй всплывает на поверхность и передает накопленные данные по спутниковому каналу связи.

К преимуществам данного варианта можно отнести его всепогодность, так как для него не требуется наличие подходящих метеоусловий на маршруте летательного аппарата.

Для обоих вариантов исполнения системы предусмотрен режим аварийного срабатывания, в том числе при наличии ледяного покрова. В случае обнаружения превышения фиксируемых показателей, например, изотопа цезия Cs-137 от донной станции отсоединяется аварийный радиомаяк, а при наличии ледяного покрова всплывает подледный автономный антенный приемо-передающий блок. После всплытия по спутниковому каналу связи сигнал тревоги передается в береговой центр мониторинга и принятия решений (рис. 3Б).

Заключение

Таким образом, основной проблемой при построении системы экологического мониторинга подводных потенциально опасных объектов в арктических морях является передача информации от донных станций оператору (в центр принятия решений). Показано, что при наличии ледяного покрова целесообразно использовать передачу информации подо льдом по гидроакустическому каналу, либо с использованием всплывающего подледной антенны. Однако использование бурения ограничивает возможности работы системы в режиме дуплексной связи даже с использованием спутникового канала связи.

Использование подводного кабеля для передачи информации в условиях арктических морей осложнено подвижкой льда, особенно в местах вывода кабеля на берег, а также его дальнейшим соединением. Поэтому, как уже отмечалось, наиболее перспективным способом передачи информации от ППОО получателю для открытой воды следует считать использование летательных аппаратов с радиогидроакустическими буюми. В конечном счете, выбор способа передачи информации будет зависеть от конкретного подводного потенциально опасного объекта.

Список литературы:

1. Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики. М.: ИБРАЭ РАН, 2015. 699 с.
2. Сагалеви́ч А.М., Хетагуров С.В., Фомин Л.М. и др. Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец» / под ред. Виноградова М.Е. и др. М.: Наука, 1996. 361 с.
3. King S.E., Aakenes U.R., McCoy K. et al. Development of the Arctic radionuclide monitoring station // Transactions on Nuclear Science. 1997. Vol. 44. № 3. P. 777-782.
4. Batista P., Cabecinhas D., Sebastião L. et al. The EU project RAMONES—continuous, long-term autonomous monitoring of underwater radioactivity // 7as Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 2as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia. 2022.
5. Mertzimekis T. J., Nomikou P., Petra E. et al. Radioactivity Monitoring in Ocean Ecosystems (RAMONES) // Proceedings of the Conference on Information Technology for Social Good. 2021. P. 216-220.

6. Вялышев А.И., Добров В.М., Стоянов В.В и др. Автономная донная станция оперативного контроля как элемент комплексной системы мониторинга и контроля радиационного и химического загрязнения арктических морей // Арктика: экология и экономика. 2016. Том. 2. С. 22.
7. Вялышев А.И., Добров В.М., Долгов А.А. и др. Комплексная система экологического мониторинга при реализации инфраструктурных проектов на морских акваториях // Проблемы устойчивости функционирования стран и регионов в условиях кризисов и катастроф современной цивилизации. 2012. С. 267-273.
8. Вялышев А.И., Добров В.М., Долгов А.А. и др. Волоконно-оптические датчики для контроля параметров состояния объектов и окружающей среды в задачах мониторинга // Природообустройство. 2014. Том 3. С. 32-37.
9. Роберт Дж. Урик Основы гидроакустики: пер. с англ. Гусева Н.М.. Ленинград: Судостроение, 1978. 445 с.
10. Zolich A., Johansen, T. A., Elkolali, M. et al. Unmanned Aerial System for deployment and recovery of research equipment at sea // Aerial Robotic Systems Physically Interacting with the Environment (AIRPHARO). 2021. P. 1-8.
11. Lyu C., Fan Z., Bi Y. et al. Dragonfly: a UAV Rapidly Deployed Micro-Profiler Array for underwater thermocline observation // International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 2022. P. 1053-1059.
12. Bradley A.C., Palo S., LoDolce G. et al. Air-deployed microbuoy measurement of temperatures in the marginal ice zone upper ocean during the mizopex campaign // Journal of Atmospheric and Oceanic Technology. 2015. Vol. 32. № 5. P. 1058-1070.
13. Рзаев И.А., Сараев И.В. Обзор беспилотных авиационных систем для работы в условиях низких температур // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов конференции. 2023. С. 152.
14. Айзатуллова А.Ш., Стрекаловский А.Е. Беспилотники в освоении Арктики // Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики, материалы международной научно-практической конференции. 2021. С. 25-29.
15. Munro B., Lim D., & Anvar A. A feasibility-study of a micro-communications sonobuoy deployable by UAV robots // International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering. 2012. Vol 6 (10). P. 2142-2146.

References:

1. Sarkisov A.A., Sivincev Ju.V., Vysockij V.L., Nikitin V.S. Atomnoe nasledie holodnoj vojny na dne Arktiki [Cold War nuclear legacy on the Arctic seabed]. Moscow, IBRAJe RAN [Nuclear safety institute of the Russian Academy of sciences] Publ., 2015, 699 p. (In Russian).
2. Sagalevich A.M., Hetagurov S.V., Fomin L.M. et al. Okeanologicheskie issledovanija i podvodno-tehnicheskie raboty na meste gibeli atomnoj podvodnoj lodki "Komsomolec" [Oceanological research and underwater engineering works at the site of the Komsomolets nuclear submarine sinking]. Edited by M. E. Vinogradov et al., Moscow, Nauka Publ., 1996, 361 p. (In Russian).
3. King S.E., Aakenes U.R., McCoy K. et al. Development of the Arctic radionuclide monitoring station // Transactions on Nuclear Science, 1997, vol. 44, № 3, pp. 777-782.
4. Batista P., Cabecinhas D., Sebastião L. Pascoal A., Mertzimekis T. et al. The EU project RAMONES—continuous, long-term autonomous monitoring of underwater radioactivity, 7as Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 2as Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia, 2022.
5. Mertzimekis T.J., Nomikou P., Petra E., Batista P., Cabecinhas D., Pascoal A., Maigne L. Radioactivity Monitoring in Ocean Ecosystems (RAMONES). In Proceedings of the Conference on Information Technology for Social Good, 2021, pp. 216-220.
6. Vjalyshev A.I., Dobrov V.M., Stojanov V.V., Panteleev V.A., Segal' M.D. Avtonomnaja donnaja stancija operativnogo kontrolja kak jelement kompleksnoj sistemy monitoringa i kontrolja radiacionnogo i himicheskogo zagrjaznenija arkticheskikh morej [Autonomous bottom operational control station as an element of the integrated system of monitoring and control of radiation and chemical pollution of the Arctic seas]. Arktika: jekologija i jekonomika [Arctic: Ecology and Economy], 2016, vol. 2, p. 22. (In Russian).
7. Vjalyshev A.I., Dobrov V.M., Dolgov A.A. Molchanov S.A. Kompleksnaja sistema jekologicheskogo monitoringa pri realizacii infrastrukturyh proektov na morskikh akvatorijah [Integrated system of environmental monitoring during implementation of offshore infrastructure projects]. Problemy ustojchivosti funkcionirovanija stran i

- regionov v uslovijah krizisov i katastrof sovremennoj civilizacii [Problems of sustainable functioning of countries and regions in the context of crises and disasters of modern civilization], 2012, pp. 267-273. (In Russian).
8. Vjalyshev A. I., Dobrov V. M., Dolgov A. A. Butov O.V., Pleshkov A.Ju. Volokonno-opticheskie datchiki dlja kontrolja parametrov sostojanija obektov i okruzhajushhej sredy v zadachah monitoring [Fiber-optic sensors for controlling the parameters of the state of objects and the environment in monitoring tasks]. Prirodoobustrojstvo [Environmental management], 2014, vol 3, pp. 32-37. (In Russian).
 9. Robert Dzh. Urik Osnovy gidroakustiki [Basics of hydroacoustics]. Leningrad: Sudostroenie [Shipbuilding] Publ., 1978, 445 p. (In Russian).
 10. Zolich A., Johansen, T. A., Elkolali, M. et al. Unmanned Aerial System for deployment and recovery of research equipment at sea. Aerial Robotic Systems Physically Interacting with the Environment (AIRPHARO), 2021, pp. 1-8.
 11. Lyu C., Fan Z., Bi Y. et al. Dragonfly: a UAV Rapidly Deployed Micro-Profiler Array for underwater thermocline observation. International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2022, pp. 1053-1059.
 12. Bradley A.C., Palo S., LoDolce G. et al. Air-deployed microbuoy measurement of temperatures in the marginal ice zone upper ocean during the mizopex campaign. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2015, vol. 32, № 5, pp. 1058-1070.
 13. Rzaev I.A., Saraev I.V. Obzor bespilotnyh aviacionnyh sistem dlja raboty v uslovijah nizkih temperature [Review of unmanned aircraft systems for operation in low temperature conditions]. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin i mehanizmov [Overview of unmanned aircraft systems for low-temperature operations]: sbornik materialov konferencii [Reliability and durability of machines and mechanisms: collection of conference materials], 2023, p. 152. (In Russian).
 14. Ajzatullova A.Sh., Strekalovskij A.E. Bespilotniki v osvoenii Arktiki [Drones in Arctic exploration]. Nauka i obrazovanie: aktual'nye voprosy teorii i praktiki, materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Science and education: current issues of theory and practice, materials of the international scientific and practical conference], 2021, pp. 25-29. (In Russian).
 15. Munro B., Lim D. & Anvar A. A feasibility-study of a micro-communications sonobuoy deployable by UAV robots. International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, 2012, vol. 6 (10), pp. 2142-2146.