Современные подходы и возможности системы освещения обстановки в Арктике в интересах обеспечения безопасного судоходства Северного морского пути

Н.П. Лаверов¹, В.В. Попович², Л.А. Ведешин³, В.Е. Коновалов⁴

¹*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН
Москва, 119017, Россия
E-mail: laverov@igem.ru*

²*ЗАО «СПИИРАН-Научно-техническое бюро высоких технологий»
Санкт-Петербург, 199178, Россия
E-mail: popovich@oogis.ru*

³*Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия
E-mail: vedeshin40@mail.ru*

⁴*Радиотехническая служба ВМФ РФ, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: ntb@oogis.ru*

В статье рассматриваются теоретические основы построения эффективной системы наблюдения в Арктике. Основой для написания данной статьи явились положительные результаты практического применения сегментов системы наблюдения в океанологии, в том числе в арктическом регионе. Анализируются четыре подсистемы наблюдения: космическая, радиолокационная, гидроакустическая, а также автоматическая система идентификации судов. Показано, что только комплексное использование всех подсистем наблюдения позволит обеспечить эффективный контроль над обстановкой и информационную поддержку принятия решений. Предлагается создание специальной системы наблюдения, предназначенной для эффективного решения задач определения местоположения и характера деятельности морских объектов, автоматизированного контроля над развитием сложных ситуаций и интерпретации результатов анализа развития опасных ситуаций. Кроме этого, предлагаемая система наблюдения позволит контролировать и осуществлять мониторинг за различными объектами в условиях сложной гидрометеорологической и ледовой обстановки, а также обеспечивать безопасное судоходство в акваториях Северного морского пути.

Ключевые слова: система наблюдения, мониторинг обстановки, Северный морской путь, поддержка принятия решений, дистанционное зондирование Земли, географическая информационная система, космические системы, радиолокационные системы, гидроакустические системы

Одобрена к печати: 05.06.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-141-157

Введение

В последнее десятилетие наблюдается постоянно растущий интерес к использованию главной морской магистрали Арктики – Северному морскому пути (СМП). В первую очередь это связано с открытием и промышленной разработкой новых перспективных нефтяных и газовых месторождений арктического побережья и шельфа арктических морей и, как следствие, постоянно растущей потребностью в перевозке и доставке разнообразных грузов. По различным данным в арктическом регионе России имеется от 15% до 25% всех мировых запасов энергетических ресурсов. Несмотря на очевидную выгоду использования северных морских маршрутов, практически все участки СМП характеризуются слаборазвитой береговой инфраструктурой и отягощаются суровыми климатическими условиями, сложной гидрометеорологической, ледовой и навигационной обстановкой.

В настоящее время в мире разработаны и функционируют немало различных систем мониторинга морской обстановки локального и глобального масштабов. Основной задачей таких систем является сбор информации от первичных источников, включая

автоматические идентификационные системы (АИС), спутниковые АИС, сенсоры дистанционного зондирования Земли, радиолокационные станции (РЛС), доклады с борта судов и т. д., и последующее ее отображение на электронной карте. Пользователи могут в режиме реального времени получать информацию о местоположении судна, иметь представление о его текущем маршруте, а также истории перемещения за некоторый период. Примерами таких систем могут служить центры ситуационного мониторинга MarineTraffic (<http://www.marinetraffic.com/>), ShipFinder (<http://www.shipfinder.com/>), которые являются открытыми и предоставляют данные через веб-сервисы. Кроме того, данные, по согласованию с владельцем, могут быть получены и из закрытых систем, таких как система мониторинга судов «Виктория» (https://victoria.lrit.ru/index_rus/index.html/) и другие.

Учитывая естественную сложность арктических маршрутов, приходится разрабатывать специальные навигационные карты на достаточно короткий прогнозный срок с учетом имеющихся наземных и космических данных. Особо важна информация о ледовой обстановке в арктическом бассейне с многочисленных российских и зарубежных метеостанций (рис. 1). Необходимо также знать оперативную обстановку по судам, находящимся на маршрутах СМП (Интеллектуальные..., 2013).

Рис. 1. Карта ледовой обстановки и маршруты навигации по СМП (пролив Карские ворота)

Однако анализ возможностей международных и отечественных систем мониторинга морского транспорта и обеспечения безопасности мореплавания приводит к результату, показанному на рис. 2. Информация о местоположении морских судов, передаваемая в режиме реального времени, обрывается примерно в районе Баренцева моря. Имеются лишь локальные «пятна» информации в Белом море за счет ведомственных источников, например, системы освещения обстановки ВМФ. В последнее время активно развиваются спутниковые АИС, но они также не обеспечивают непрерывное круглосуточное наблюдение за надводной обстановкой в Арктическом бассейне.

Рис. 2. Интегрированная обстановка в районе Баренцева моря по данным международных и отечественных источников

Уже давно очевидна необходимость радикального улучшения освещения обстановки в Арктике. Данную проблему нельзя решить по прямой аналогии с другими широтами, так как суровые реалии Арктики оказывают существенное влияние на технические и организационные аспекты построения систем мониторинга. Выбор технических средств не так уж велик и является традиционным: это АИС, береговые РЛС, гидроакустические средства наблюдения и космические системы. Рассмотрим их последовательно, исходя из опыта их практического применения.

Автоматические идентификационные системы

Это чрезвычайно эффективное и дешевое средство мониторинга морских судов (водоизмещением свыше 500 т). Но в условиях Арктики возникают серьезные ограничения использования таких систем, обусловленные отсутствием источников бесперебойного питания и устойчивой системы связи (сотовая, космическая), переменной дальностью приема данных от судов (от десятков до сотен километров), зависимостью от конкретного региона, сезона и рядом других факторов. Эффективность таких систем в Арктике полноценно не оценивалась.

Дооборудование метеорологических и радионавигационных станций, примыкающих к СМП, инструментарием АИС позволит создать постоянно действующую систему мониторинга гражданского судоходства в регионе. Ее данные могут быть использованы для идентификации объектов, обнаруженных и сопровождаемых развертываемой гидроакустической системой. Появится также возможность ретрансляции данных АИС с судов, с которыми будет установлена устойчивая связь.

Радиолокационные системы обнаружения

При проектировании радиолокационных систем следует учитывать, что, как следует из данных арктических метеорологических станций, эффективность работы типовых береговых и корабельных РЛС в условиях этого региона снижена. Это обусловлено рядом факторов, среди которых можно выделить следующие:

- наличие возмущенной ионосферы (полярные сияния);
- преломление волн ледниковыми шапками, что искажает приемный сигнал и приводит к ошибкам классификации обнаруживаемого объекта;
- аномально низкие температуры, оказывающие влияние на функционирование РЛС.

Эти проблемы хорошо известны и находятся в сфере пристального внимания исследователей, заинтересованных хозяйственных и силовых структур, ведущих свою деятельность в арктическом регионе.

Необходима разработка новых корабельных и береговых РЛС, учитывающих особенности среды распространения (Kuttler, Dockery, 1991; Sailors et al., 1998). Требуется оснащение береговых наблюдательных пунктов РЛС с дальностью действия не менее 300–500 км для объектов с большой эффективной площадью рассеяния (ЭПР) и не менее 100–200 км для объектов с малой ЭПР.

Система радиолокационного наблюдения (СРЛН) включает две подсистемы: гидрометеорологического мониторинга и радиолокационного мониторинга. Подсистема гидрометеорологического мониторинга (ПГММ) необходима для получения полной и оперативной информации о гидрометеорологической обстановке в наблюдаемом районе. ПГММ представляет собой совокупность технических средств метеорологического контроля и информационных технологий. Она дополнит существующие метеорологические системы Росгидромета, Росавиации и других организаций, которые не обеспечивают требуемую периодичность сбора гидрометеорологических параметров.

В связи со значительными пространственными масштабами общей зоны мониторинга предусматривается построение ПГММ по смешанному (зонально-объектовому) принципу, т. е. мониторинг части параметров (метеорологических параметров, ледовой обстановки) организуется в определенных зонах с использованием существующих средств (сети метеорологических станций, спутниковых систем). На *рис. 3* показана сеть метеорологических станций Росгидромета России в арктическом регионе.

При выборе места размещения системы радиолокационного наблюдения необходимо следующее:

- учет имеющихся и проектирование новых источников электроснабжения для обеспечения СРЛН;
- учет климатических особенностей района (технические средства должны функционировать при низких температурах);
- учет географических особенностей арктического района (проливы, заливы и т. д.).

Естественные и искусственные факторы оказывают очень сильное влияние на радиолокационное поле (рис. 4), зачастую существенно снижая эффективную дальность обнаружения. Одним из выходов из создавшейся ситуации является внедрение согласованной со средой обработки радиолокационной информации. Под согласованной со средой обработкой радиолокационной информации понимается определение основных характеристик распространение радиолокационных сигналов с учетом среды распространения.

Рис. 4. Пример искажения радиолокационного поля под действием среды распространения радиолокационного сигнала

Гидроакустические системы обнаружения

Объектами гидроакустического мониторинга в Арктике являются:

- надводные объекты (суда, осуществляющие регулярное движение по СМП, а также гидрографические, военные и пограничные суда, осуществляющие разведывательную деятельность в регионе);

- подводные объекты (подводные лодки и платформы-транспортировщики сырьевых ресурсов, автономные необитаемые подводные аппараты, средства доставки боевых пловцов, боевые пловцы, торпедное оружие);
- донные и придонные объекты (мины, стационарные и автономные средства гидроакустической разведки, затонувшие аварийные объекты);
- лед и ледовые образования.

Мониторинг подводной обстановки целесообразно организовать по объектовому принципу, т. е. в интересах отдельных объектов, функционирующих в регионе (объектов экономической деятельности, судов, объектов береговой инфраструктуры и т. п.). Такой принцип мониторинга обеспечивает экономное расходование ресурсов и их рациональное использование. Система мониторинга переводится из дежурного в рабочий режим только в случае необходимости или при возникновении нештатной ситуации, связанной с опасностью аварии или гибели людей, грузов.

Для реализации объектового принципа должны использоваться средства мониторинга подводной обстановки, обеспечивающие периодический контроль первичных (шумоизлучения) и вторичных (отраженных от объектов сигналов) полей объектов наблюдения в заданном районе или по заданному направлению. Пространственное положение, периодичность функционирования и режимы работы средств мониторинга должны позволять своевременно регистрировать тот или иной вид поля на заданном рубеже или в заданной области пространства, а также сопровождать объект мониторинга с заданной точностью.

В зависимости от динамики движения средств и объектов мониторинга регистрируемое акустическое поле может быть статическим или динамическим. На *рис. 5* приведен пример трехмерного представления статического вторичного акустического поля объекта мониторинга с отражающей способностью $R_s = 15$ м в зимний период в глубоководном районе моря Лаптевых со сложным рельефом дна.

Методами и средствами формирования и регистрации временных подвижных и неподвижных акустических полей могут быть:

- позиционные (стационарные или автономные) средства регистрации первичных, формирования и регистрации вторичных акустических полей;
- средства регистрации первичных, формирования и регистрации вторичных полей маневренных носителей (подводных лодок, автономных необитаемых подводных аппаратов, подводных роботизированных средств и платформ, надводных судов);
- бистатические и мультистатические системы формирования и регистрации вторичных акустических полей;
- случайно распределенные в пространстве автономные средства регистрации первичных, формирования и регистрации вторичных акустических полей;
- позиционные и маневренные средства мониторинга, реализующие согласованную со средой обработку гидроакустической информации.

Рис. 5. Пример трехмерного представления акустического поля

Как представляется, наиболее эффективными средствами мониторинга являются бистатистические и мультистатистические системы, а также средства, реализующие методы согласованной со средой обработки гидроакустической информации.

На рис. 6–9 представлены примеры формирования вторичного поля с помощью моностатической и бистатистической активно-пассивных систем мониторинга в Карском море в летний период.

При моделировании в качестве излучателя в бистатистической системе использовалась опускаемая ледокольным судном всенаправленная антенна, а в качестве приемника – автономная гидроакустическая система.

Эффективность мониторинга подводной обстановки может быть повышена за счет использования методов согласованной со средой обработки гидроакустической информации. Отличительной особенностью таких методов является использование при обработке сигналов передаточной функции среды.

Средства мониторинга, реализующие согласованную со средой обработку гидроакустической информации, способны не только обеспечить формирование более развитого в пространстве акустического поля, но и локализовать объект наблюдения в координатах «пеленг–дистанция–глубина». Более развитое акустическое поле формируется за счет реализации метода «мнимых изображений», обеспечивающего фокусирование в волноводе антенны с апертурой, увеличенной за счет «мнимых» приемных антенн. Локализация объекта наблюдения в координатах «пеленг–дистанция–глубина» обеспечивается алгоритмом согласованной со средой обработки акустического сигнала, предусматривающего в общем случае следующие операции:

- формирование амплитудно-фазового распределения смеси сигнала и помехи на элементах приемной антенны;
- расчет передаточных функций среды для всех элементарных ячеек зоны освещения волновода;

Рис. 6. Акустическое поле моностатической активно-пассивной системы на уровне 160 дБ

Рис. 7. Акустическое поле элемента моностатической активно-пассивной системы

Рис. 8. Срез акустического поля бистатической активно-пассивной системы на уровне 160 дБ

Рис. 9. Акустическое поле бистатической активно-пассивной системы в полярных координатах на горизонте нахождения объекта мониторинга

- последовательное фокусирование приемной антенной решетки во все элементарные ячейки волновода в соответствии с выбранным алгоритмом;
- принятие решения о наличии объекта мониторинга в каждой элементарной ячейке.

Преимуществом такого, условно назовем его классическим, подхода является независимость процедуры фокусирования антенны от характеристик сигнала и помех на выходах элементов антенны. Недостатком – необходимость использования значительных вычислительных ресурсов для реализации классических алгоритмов в реальном времени для многоэлементных антенных решеток в широкой полосе частот и при большой пространственной протяженности области наблюдения.

Альтернативным классическому подходу к задаче локализации источника в волноводе является подход, основанный на восстановлении поля источника за один цикл фокусирования приемной антенны. Этот подход может быть реализован в рамках голографических методов восстановления поля или метода «временного обращения волн». Недостатком

его является зависимость процедуры фокусирования антенны от характеристик сигнала и помех на выходах элементов приемной антенны, обуславливающая необходимость принятия мер по увеличению отношения сигнал/помеха в точках приема.

Голографический метод восстановления поля в пространстве волновода, основанный на численном решении волнового уравнения, является наиболее перспективным для решения задачи локализации источника ввиду обеспечения потенциально идеального восстановления за счет обратной пространственно-временной фильтрации принятого в виде голограммы акустического поля.

Пример применения голографических методов согласованной со средой обработки гидроакустической информации приведен на *рис. 10*.

Рис. 10. Результаты модельных исследований алгоритма согласованной со средой обработки гидроакустической информации на основе классических (а, в) и голографических (б, г) алгоритмов

Космические системы обнаружения

Возможности космических систем в Арктике сильно ограничены, так как большая часть спутниковых систем ориентирована на работу в умеренных широтах. Наиболее перспективными являются известные коммуникационные системы типа Иридиум и Инмарсат, технологически совместимые со спутниковыми АИС. К специализированным системам можно отнести такие системы, как Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System (SIAEOS, <http://www.sios-svalbard.org/prognett-sios/Forside/1234130481072/>), которая в на-

стоящее время находится в стадии разработки, и Arctic Regional Ocean Observing System (AROOS, <http://arctic-roos.org/>), находящаяся в эксплуатации с 2006 г.

Основное предназначение AROOS – создание (арктической) системы наблюдения за Землей, которая охватывает метеорологические, геофизические, гидрологические, криосферные и биологические процессы. Решаемые задачи:

- поддержка всех полевых работ в рамках системы соответствующей спутниковой информацией;
- предоставление доступа к временному ряду определенной спутниковой информации во всей области действия системы;
- унификация каталогизации и доступа ко всем данным дистанционного зондирования (ДДЗ).

Система SIAEOS предназначена для «содействия, развития и поддержки оперативного мониторинга и прогнозирования циркуляции океана, водных масс, состояния поверхности океана, морского льда и биологических/химических компонентов океана» и предоставляет доступ к следующей информации:

- карты концентраций льда в Арктике;
- общая суточная площадь морского льда в Арктике;
- глобальная и региональная концентрация льда;
- толщина льда;
- глобальные ледовые карты концентрации, плотности и типа морского льда, кромки льда;
- региональные ледовые карты;
- глобальный ледовый дрейф;
- временные ряды за последние 20 лет с ежедневным обновлением;
- ледовые карты для Гренландии и Арктики.

Система предоставляет универсальный интерфейс пользователя ко всем типам данных.

К сожалению, данных, получаемых с помощью оптических систем спутников серии «Метеор-М», «Канопус-В» и др. по ледовой обстановке в Арктике (представляемых Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом), недостаточно для создания национальной системы мониторинга полярных районов. Многие операции по анализу данных по обстановке в Арктике выполняются ручным способом, что требует значительного времени для подготовки данных заказчику и резко ограничивает количество заявок, которые можно обслужить. В ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ» разработана система технологий, направленных на увеличение доли автоматизации в подготовке данных по Арктическому региону для различных заказчиков. Основу этих технологий составляет процесс распознавания объектов по данным космических аппаратов. Сразу заметим, что чем больше разнотипных исходных данных, тем качественнее распознавание. Процесс распознавания природных объектов состоит из следующих этапов (Лаверов и др., 2015):

- предварительная обработка изображения с целью повышения стабильности анализа;
- выделение информативных элементов, в данном случае – сегментация (объединение пикселей в сегменты по сходству их свойств);
- описание сегментированного изображения (построение пространства признаков);
- классификация элементов (сегментов) по их свойствам.

На *рис. 11* показано графическое представление процесса распознавания. На текущий момент времени в процессе распознавания используются более 30 частных алгоритмов различного назначения – от сегментации раstra до распознавания заданных классов объектов.

Рис. 11. Графическое представление процесса распознавания природных объектов с использованием ДДЗ

Анализ основывается на классификации, которую можно выполнить, в частности, с помощью метода сингулярного разложения матриц (Singular Value Decomposition, SVD). Традиционный процесс SVD-классификации (Гальяно, 2010) состоит из этапов обучения и распознавания. Из векторов признаков формируется матрица, для которой вычисляются первые g членов сингулярного разложения, что существенно снижает размерность и объем данных. Полученные в результате наборы троек, состоящие из сингулярного числа и соответствующего ему левого, а также правого сингулярного вектора, есть результат обучения. Количество таких троек определяет размерность нового пространства признаков. Процесс распознавания сводится к отображению классифицируемого вектора в новое пространство признаков и поиска наиболее близкого ему элемента.

Применение SVD в условиях распределенных вычислений требует некоторой модификации алгоритма для более полного использования вычислительных ресурсов, а именно:

1. На этапе обучения: процедура обучения, как правило, выполняется гораздо реже, чем процедура распознавания, поэтому требования по ее распараллеливанию ниже. Тем не менее возможна модификация SVD, которая сводится к вычислению различных этапов

обучения (т. е. нормализации, вычислению левых и правых сингулярных векторов) на различных узлах.

2. На этапе распознавания потребность в распараллеливании существенно выше, поскольку процедура распознавания используется большую часть времени. SVD-алгоритм классификации элементов ДДЗ (пикселей, сегментов, контуров и т. д.) может быть легко распределен между вычислительными узлами. Значительное количество таких элементов и стабильное время классификации вектора признаков, соответствующего одному элементу, позволяет обеспечить равномерную и полную нагрузку вычислительных узлов в процессе классификации, что сокращает время вычислений.

Метод распознавания природных объектов средствами космической подсистемы наблюдения

Исходными данными для космической подсистемы наблюдения являются мульти-спектральные изображения поверхности Земли. Целью классификации являлось разделение пикселей на два класса: водной поверхности и суши. Исходное цветное изображение было преобразовано в три одноцветных изображения в цветовом пространстве RGB (рис. 12). Вектора признаков размерностью 3 составлялись непосредственно из яркостей пикселей с одинаковыми координатами. Результат сравнения классификаций с единичными весами классов и с весами 1 и 0,25 для водной поверхности и суши соответственно приведен на рис. 13. Анализ этих результатов показывает, что учет весов позволяет уменьшить число ошибок. Так, при традиционном алгоритме классификации процент неправильных решений составил 32,34%, а при модифицированном методе – только 20,79%. Таким образом, можно сделать вывод о расширении возможностей метода SVD-классификации участков поверхности Земли при учете весовых коэффициентов.

Рис. 12. Три спектральных диапазона исходных данных исходного изображения (Источник: база изображений USC-SIPI, <http://sipi.usc.edu/database/index.html>)

Рис. 13. Пример выделения природных объектов с помощью SVD-классификации

Оценка производительности космической подсистемы наблюдения

Для оценки производительности космической подсистемы наблюдения был проведен вычислительный эксперимент. Зависимость между количеством анализируемых изображений и средним временем анализа представлена на рис. 14. Построенные по значениям графические зависимости (рис. 14, 15) показывают возможность масштабирования процессов обработки ДДЗ, запущенных на параллельное исполнение.

Рис. 14. Прирост производительности обработки ДДЗ на вычислительном кластере

В качестве характеристик для оценки производительности используются следующие количественные показатели обработки ДДЗ: α – число объектов на исследуемых изображениях, правильно классифицированных как принадлежащих заданному классу; γ – число объектов на исследуемых изображениях, неверно классифицированных как принадлежащих заданному классу; β – число реально имеющих на изображениях объектов заданного класса; вероятность правильного обнаружения объекта заданного класса: $P_r = \frac{\alpha}{\beta}$; доля ошибок классификации: $K_e = \frac{\gamma + \alpha}{\beta}$.

Рис. 15. Среднее время обработки одного снимка на вычислительном кластере

По результатам экспериментальных исследований установлено, что показатели распознавания для всех конфигураций системы соответствуют следующим требованиям: для искусственных и естественных объектов – $P_r \geq 0,85$, $K_e \leq 0,2$.

Установлено, что классический алгоритм SVD-классификации может быть использован и в случае распределенных вычислений путем распараллеливания алгоритма в пространстве или во времени. В качестве направления дальнейшего развития можно предложить использование другого алгоритма для вычисления сингулярных чисел, а также левых и правых сингулярных векторов, позволяющего распараллелить в пространстве вычисление параметров SVD-разложения для более полного использования вычислительных ресурсов системы.

Типовые архитектурные решения многих компаний (аппаратные и программные), в том числе и серийная продукция ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ», позволяют решать задачу анализа космических снимков в масштабе времени, близком к реальному (рис. 16).

Рис. 16. Интегрирование космического снимка на карту обстановки

Заключение

Идея создания системы наблюдения в Арктике, безусловно, не нова. Однако до сих пор для этого региона не создано такой системы по ряду объективных причин. Это и сложные климатические условия, и слабо развитая инфраструктура региона, и недостаток опыта и специалистов.

Авторами, на основе многолетнего опыта работы в данной области, предлагается новая структура системы наблюдения в Арктике. Система включает в себя космическую, гидроакустическую, радиолокационную подсистемы и автоматические информационные системы. Наличие такой системы наблюдения позволит значительно усовершенствовать и модернизировать систему наблюдения за судоходством вдоль Северного пути и осуществлять интегрированное наблюдение за надводной, подводной, космической обстановкой в арктическом регионе. Данная система позволит своевременно получать актуальную информацию по навигационной, ледовой, гидрометеорологической обстановке в районе плавания, а также обеспечивать бесперебойную и безопасную работу Северного морского пути.

Авторы выражают свою признательность доктору технических наук, профессору Светличному В.А., кандидатам технических наук Ермолаеву В.И., Цветкову М.В., Смирновой О.В., Гальяно Ф.Р. (ЗАО «СПИИРАН-НТБВТ») за предоставление материалов в процессе подготовки данной статьи.

Литература

1. Гальяно Ф.Р. Алгоритм классификации участков поверхности Земли на основе сингулярного разложения матриц // Информационные технологии. 2010. № 12. С. 35–37.
2. Интеллектуальные географические информационные системы для мониторинга морской обстановки. Ред. Юсупов Р.М., Попович В.В. СПб: Наука, 2013. 284 с.
3. Лаверов Н.П., Попович В.В., Ведешин Л.А., Гальяно Ф.Р. Методы анализа данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 6. С. 145–153.
4. Светличный В.А. Интегральное уравнение для функции ослабления радиолокационных сигналов в неоднородной тропосфере над морем // XX-я Межвузовская научно-техническая конференция. Петродворец: ВМИРЭ, 2009. Ч. 2. С. 290.
5. Kuttler J.R., Dockery G.D. Theoretical description of the parabolic approximation. Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere // Radio Science. 1991. Vol. 26. Issue 2. P. 381.
6. Sailors D.R., Barrios A.E., Patterson W.L., Hitney H.V. Advanced Propagation Model [Ver. 1.0] (APM) Computer Software Configuration Item (CSCI) Documents. SPAWARSYSCEN-SD TD 3033. August 1998.

Modern approaches and capabilities of the Arctic monitoring system for maritime safety of the Northern Sea Route

N.P. Laverov¹, V.V. Popovich², L.A. Vedeshin³, V.E. Konovalov⁴

¹*The Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS
Moscow 119017, Russia*

E-mail: laverov@igem.ru

²*SPIIRAS Hi Tech Research and Development Office Ltd., St. Petersburg 199178, Russia*

E-mail: popovich@oogis.ru

³*Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia*

E-mail: vedeshin40@mail.ru

⁴*Radio Engineering Service of the Russian Federation Navy, St. Petersburg, Russia*

E-mail: ntb@oogis.ru

In this paper we consider theoretical aspects of the development of an efficient monitoring system in the Arctic. Positive results demonstrated by some oceanographic monitoring system segments, in the Arctic in particular, provided the basis for this work. Four subsystems are analyzed in this work: space, radar, hydro-acoustic and vessel automatic identification system. It is shown that only the integrated use of all monitoring subsystems provides efficient situation control and information support for decision making. We propose to create a special monitoring system intended for effective identification of vessel location and activity, automatic situation control and interpretation of dangerous situation analysis results. The proposed monitoring system will be able to control and monitor various objects in complex hydrometeorological and ice conditions and also ensure safe navigation along and around the Northern Sea Route.

Keywords: observation system, situation monitoring, Northern Sea Route, decision making support, remote sensing of the Earth, geographical information system, space system, radar system, hydroacoustic system

Accepted: 05.06.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-141-157

References

1. Gal'vano F.R., Algoritm klassifikatsii uchastkov poverkhnosti Zemli na osnove singulyarnogo razlozheniya matrits (Earth surface classification algorithm based on singular matrix decomposition), *Informatsionnye tekhnologii*, 2010, No. 12, pp. 35–37.
2. *Intellektual'nye geograficheskie informatsionnye sistemy dlya monitoringa morskoi obstanovki* (Intelligent geographic information systems for monitoring maritime situations), Yusupov R.M., Popovich V.V. (eds.), St. Petersburg, 2013, Nauka, 284 p.
3. Laverov N.P., Popovich V.V., Vedeshin L.A., Galyano F.R., Methods of Earth remote sensing data analysis, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 6, pp. 145–153.
4. Svetlichnyi V.A., Integral'noe uravnenie dlya funktsii oslableniya radiolokatsionnykh signalov v neodnorodnoi troposfere nad morem (Integral equation for attenuation function of radio signals in heterogeneous troposphere under sea), *XX mezhvuzovskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya* (XX Interuniversity scientific and technical conf.), Petrodvorets, Book of Abstracts, Petrodvorets: VMIRE, 2009, Part 2, p. 290.
5. Kuttler J.R., Dockery G.D., *Theoretical description of the parabolic approximation. Fourier split-step method of representing electromagnetic propagation in the troposphere*. Radio Science, 1991, Vol. 26, p. 381.
6. Sailors D.R., Barrios A.E., Patterson W.L., Hitney H.V., *Advanced Propagation Model [Ver. 1.0] (APM), Computer Software Configuration Item Documents. SPAWARSYSCEN-SD TD 3033*, August 1998.