

Мониторинг ледовой обстановки: методология, техническое оснащение, перспективы развития



Ю. Г. Кутинов,
докт. геол.-минерал.
наук, директор Центра
космического мониторинга
Арктики (ЦКМА)
Северного (Арктического)
федерального
университета (САФУ)
им. М. В. Ломоносова,
главный научный сотрудник
Института экологических
проблем Севера Уральского
отделения РАН



А. В. Чирков,
канд. геол.-минерал. наук,
начальник отдела
ЦКМА САФУ
им. М. В. Ломоносова



Д. С. Ковалёв,
ведущий инженер
ЦКМА САФУ
им. М. В. Ломоносова



С. Г. Копосов,
заместитель директора
Центра космического
мониторинга Арктики
ЦКМА САФУ
им. М. В. Ломоносова



С. В. Шевцова,
инженер ЦКМА САФУ
им. М. В. Ломоносова

В применении данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга ледовой обстановки на акватории арктических морей еще есть препятствия, ограничивающие получение информации. Возможности их преодоления показали результаты морских полярных экспедиций в рамках проекта «Арктический плавучий университет». Они позволили сформировать ряд предложений, необходимых при создании масштабной системы обеспечения ледовой проводки и навигации по маршруту Северного морского пути.

Результаты многолетних наблюдений говорят о том, что арктические моря 10–11 месяцев в году покрыты льдом. На большей части их акватории вероятность наличия сплоченных льдов даже в конце лета превышает 24 % [1]. Обычно лед полностью вытает только в узкой прибрежной зоне. Поэтому даже в наиболее благоприятный период года плавание по Северному морскому пути – это ледовое плавание. Учитывая ожидаемое увеличение продолжительности навигационного сезона до 6 месяцев для Северного морского пути и 4 месяцев для Северо-Западного прохода, необходимо получение постоянных и корректных данных о ледовой обстановке и изменении площади многолетнего льда. В связи с этим фоновый мониторинг (построение обзорных ледовых карт) целесообразно проводить на регулярной основе. Без него невозможно прогнозирование ледовых условий для планирования работ, а также накопление данных, необходимых для проведения инженерных изысканий и для совершенствования методической базы гидрометеорологического обслуживания.

Возрастающие масштабы разведки и освоения нефтяных запасов в Арктике приводят к увеличению объемов танкерной транспортировки. Основной упор будет сделан на Северный морской путь.

Точные подсчеты объемов грузов, перевозимых в этих водах, затруднительны, но этот путь используется намного интенсивнее, чем пути в других арктических водах. При значительных перспективах эксплуатации нефтяных

и газовых месторождений в Карском и Баренцевом морях увеличатся объемы транспортировки вдоль Северного морского пути, а следовательно, и риск аварий. Существующие прогнозные оценки говорят о возможном резком увеличении трафика по Северному морскому пути. К тому же прогнозируется и изменение структуры трафика за счет возрастания доли нефти и газа, что увеличивает риск загрязнения морских акваторий нефтью и нефтепродуктами. Поскольку в связи с потеплением климата на Северном морском пути может быть свободен ото льда в течение 4–6 месяцев, объем перевозок может возрасти значительно [2].

Изменение ледового покрова в Арктике обеспечило возможность постоянного морского сообщения между странами Юго-Восточной Азии и Европой по акватории северных морей. Кроме очевидных плюсов, связанных с уменьшением проходимого расстояния и, следовательно, уменьшения временной задержки при доставке грузов, возникают и многочисленные методические и технические проблемы, такие как неразвитая инфраструктура по маршруту следования судов, сложности с обеспечением постоянных каналов цифровой связи и многие другие. К таким проблемам относятся опасность возникновения сложной ледовой обстановки и, как следствие, угроза проходу судов Северным морским путем. Решение данной проблемы заключается в постоянном мониторинге ледяных масс, прогнозировании их перемещения и доставке информации о ледовой обстановке на борт судна.

Статистическая база для прогнозов

Накопление информации о Северном Ледовитом океане и прилегающих морях в советское время проводилось планомерно и на государственной основе. Были созданы специальные научные учреждения: Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ) и Плавающий морской институт (впоследствии Государственный океанографический институт). Именно в этих учреждениях накоплены огромная многолетняя база знаний по полярным льдам и климатическим условиям Арктики. На основе этой статистической базы возможен сезонный и даже многолетний прогноз ледовой обстановки для Северного морского пути. В свою очередь, сезонный прогноз, дополненный текущими наблюдениями и метеоданными, с использованием численных методов может быть локализован для отдельных участков и проливов. Несомненно, статистическое моделирование не отличается большой точностью, но накопление материала, использование современных численных методов обработки информации, создание климатических моделей с учетом новых факторов и переменных позволят уменьшить систематическую погрешность в расчете. Такие работы ведутся в АНИИ, полученные результаты публикуются на портале института [5] и в научных журналах.

Воздушная разведка

Помимо расчета ледовой обстановки на основе статистической базы, для ее мониторинга применяются прямые наблюдения или ледовая разведка. Ранее активно проводились полеты самолетов ледовой разведки, оснащенных оптической и радиолокационной аппаратурой. На основе полученных данных составлялись карты ледовой обстановки для последующей передачи навигационным службам. Как и раньше, для наблюдения за окружающим льдом используются самолеты и вертолеты судового базирования. Недостатком таких методов ледовой разведки является зависимость от погодных условий, высокая стоимость получения данных, угроза жизни экипажу воздушного судна при возникновении ЧС, необходимость содержать инфраструктуру поддержки (аэродромы, центры обработки данных и пр.).

Следующим шагом в развитии мониторинга ледовой обстановки с возду-

ха является применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) непосредственно с борта судна. В данном случае преимущества заключаются в оперативности данных, относительно небольшой стоимости летательных аппаратов, отсутствии угрозы безопасности для жизни людей. Недостатками является необходимость оснащения судов БПЛА, включение обученных операторов летательных аппаратов в экипаж судна, зависимость БПЛА от метеословий. Также в качестве комплекса бортовой аппаратуры на БПЛА чаще всего используются оптические, реже тепловые, сенсоры. Радарный комплекс на беспилотниках резко увеличивает его стоимость, поэтому он пока не получил большого распространения.

Преимущества и недостатки спутниковых систем

На современном этапе наиболее перспективным для мониторинга ледовой обстановки является использование данных полученных с космических аппаратов. Для этой цели применяются как радарные, так и мультиспектральные данные. Развивается также изучение арктического льда с космических аппаратов, оснащенных лидарными установками.

Использование мультиспектральных сенсоров, несмотря на малый световой период и большую облачность в высоких широтах, оправдано, прежде всего, для получения метеорологических данных. На основе таких данных строятся прогнозные климатические модели региона, которые позволяют предсказать поведение ледяных полей в последующих временных интервалах.

Наиболее практично для целей ледового мониторинга применение радарных съемок. Использование установок с синтезированной апертурной решеткой и современных технологических решений позволило радарам достичь высокой разрешающей способности. Примером может служить канадский спутник Radarsat-2 с разрешением до 1 м/пиксель. Всепогодность и широкий охват территории, различные режимы съемок, использование многополяризационных данных позволяют получить информацию, на основе которой можно составить полное представление о ледовой обстановке как по отдельному региону, например Карскому морю [3], так и для обособленного участка акватории (пролив Вилькицкого, Новосибирских островов и др.).

Несмотря на огромные преимущества спутниковых снимков для мониторинга ледовой обстановки имеется ряд существенных недостатков, ограничивающих применение этого метода. В первую очередь необходима развитая орбитальная группировка космических аппаратов, оснащенных радарной и мультиспектральной аппаратурой. Поддержка такой группировки возможна лишь при государственном участии. На текущий момент в нашей стране отсутствуют космические аппараты, оснащенные радарной аппаратурой, информацию с которых можно использовать для гражданских целей. Следующим препятствием является необходимость в существовании целого ряда центров, осуществляющих прием, обработку и анализ спутниковой информации. Кроме чисто технических проблем, наличия аппаратуры приема и программного комплекса обработки информации, существует проблема отсутствия подготовленных специалистов, способных провести тематический анализ полученных данных. При создании карты ледовой обстановки предъявляется целый ряд требований как к интерпретатору данных, так и к оформлению. Отсутствуют алгоритмы создания такой карты по полученным данным в автоматическом режиме. Анализ данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) о ледовом покрове в настоящее время, как правило, проводится в интерактивном режиме [4]. Точность и соответствие карты реальным условиям в первую очередь зависят от опыта интерпретатора и полноты получаемой им информации.

Создание эффективной системы ледового мониторинга и предупреждения судов сопряжено с проблемой передачи полученной информации конечным пользователям. Отсутствие развитых цифровых каналов связи ограничивает передачу данных на борт судна. Для связи с судном целесообразно использовать спутниковые системы передачи информации. Однако необходимо помнить, что в высоких широтах наиболее распространенные и развитые системы передачи, основанные на геостационарных спутниках связи, работают с перебоями. Для этих целей подходят системы связи, основанные на созвездии низкоорбитальных спутников. Примерами служат системы Iridium, Orbcomm, «Гонец». При оснащении судна терминалами связи одной из данных систем возможен обмен электронными дан-

ными с бортом судна. Впрочем, малая пропускная способность таких систем является существенным недостатком и ограничивает объем передаваемой информации. Решение данной проблемы требует развития систем связи, пригодных для использования в арктических широтах. Также возможно оснащение отдельного судна, например ледокола, осуществляющего проводку крупных караванов судов станцией приема и обработки спутниковых данных. Впрочем, для этого нужны специалисты по приему и обработке спутниковой информации на борту, необходимо формировать караваны, и, как следствие, есть существенные временные задержки. Целью же системы мониторинга ледовой обстановки, по мнению авторов, должна быть возможность передачи информации по ледовой обстановке на борт любого судна, выполняющего навигацию по Северному морскому пути.

Результаты экспедиций в Баренцевом и Карском морях

В рамках проекта «Арктический плавучий университет» в 2012 и 2013 гг. авторы проводили информационно-навигационное обеспечение морской экспедиции на базе «Центра космического мониторинга Арктики» (ЦКМА) Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова. Маршрут судна проходил в Баренцевом

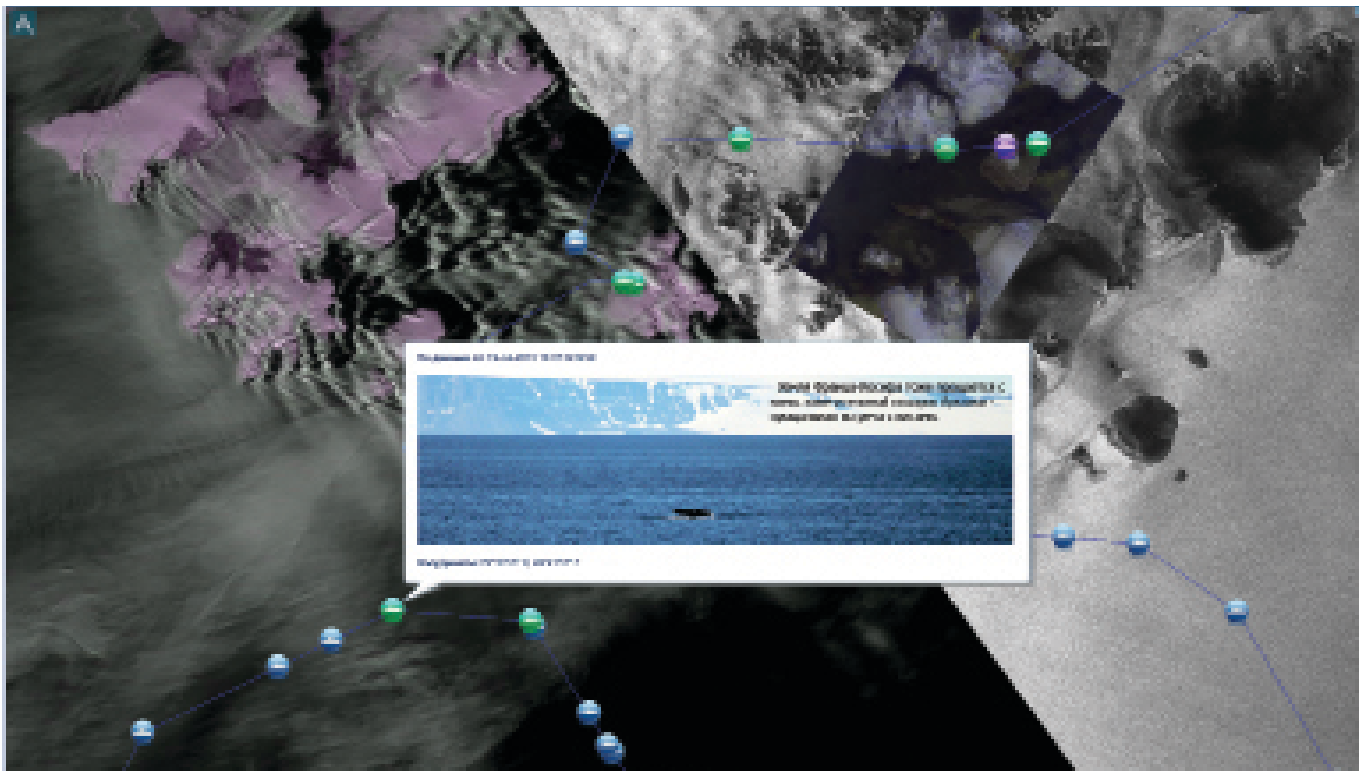
и Карском морях с высадками на островах Новой Земли, Земли Франца-Иосифа и Шпицбергене (см. рисунок). Только за период второго экспедиционного рейса «Арктический плавучий университет» в 2013 г. были приняты, обработаны и переданы на борт НИС «Профессор Молчанов» следующие данные: съемка Radarsat-2, поляризация HV+HH, режим ScanSAR Wide, 500x500 км – 7 снимков; съемка Terra/Aqua (MODIS) – 57 снимков; ледяная кромка по данным NOAA в формате shp – 98 файлов; концентрация льда по данным NOAA в формате GeoTIFF – 98 файлов; ледяная кромка по данным MyOcean в формате shp – 81 файл; текущая и прогнозируемая толщина льда по данным MyOcean в формате GeoTIFF – 85 файлов.

Необходимо отметить, что информация о ледовой обстановке в конкретном районе по данным ДЗЗ КА оптического диапазона может быть получена только при отсутствии облачности. Между тем 80 % акватории Северного Ледовитого океана обычно покрыто облаками, аналогичная ситуация характерна и для отдельных акваторий арктических морей. Поэтому для получения достоверной информации необходимо проводить ежедневный прием данных со спутников Terra и Aqua с периодичностью два раза в сутки.

Для решения задач ледового мониторинга (для обеспечения оперативными данными по ледовой обстановке

экспедиции «Арктический плавучий университет») в первую очередь использовались данные радиолокационного спутника с синтезированной апертурой Radarsat-2.

Дешифрирование морских льдов по спутниковым радиолокационным изображениям включает процессы обнаружения, распознавания и интерпретации параметров льдов. Для обнаружения и распознавания используются такие признаки, как величина обратного рассеяния и текстура, структура, размер и форма объектов. Основным прямым дешифровочным признаком является яркость радиолокационного изображения, которая определяется коэффициентом обратного рассеяния воды и морских льдов. На основе различий коэффициентов обратного рассеяния могут быть определены основные виды льдов. Зависимость удельной эффективной площади рассеяния и тона изображения от вида льда, его форм и шероховатости поверхности делает возможным определение ряда параметров морских льдов, тем не менее различные виды льдов могут быть изображены одинаковым тоном и текстурой. На типичных радиолокационных изображениях многие виды льдов отображаются одинаково при различных поляризациях и углах зондирования. Для решения этой проблемы необходимо комплексное использование оптических и радарных



Маршрут экспедиции "Арктический плавучий университет-2013" на геопортале университета

данных и разработка унифицированных программ многопоточной обработки данных ДЗЗ в режиме, близком к реальному времени.

Информация о морских льдах формировалась в виде архивов растровых, графических и векторных схем ледовой обстановки. Векторным вариантом визуализации данных являлась схема распространения льда. За основу были приняты методики и опыт аналогичной работы, используемые в ААНИИ, Норвежском метеорологическом институте и Международном центре по окружающей среде и дистанционному зондированию им. Нансена [5–7]. Векторизация данных осуществлялась в полуавтоматическом режиме, последующая классификация сегментов проводилась оператором, соответственно, точность классификации зависела от опыта оператора. Часть информации, как прошедшей тематическую обработку, так и необработанной, поступала на борт судна через систему спутниковой связи Iridium. Малая пропускная способность связи привела к ограничению объема передаваемой информации. По опыту авторов, оптимальный размер файла ограничивался 150–200 Кб.

Результатом выполненных работ по информационно-навигационному обеспечению проекта «Арктический плавучий университет» стал комплекс космического сопровождения морских полярных экспедиций. Комплекс был представлен на общественных слушаниях в Межрегиональном общественном Ломоносовском фонде и по итогам слушаний был награжден общественной премией имени М. В. Ломоносова, учрежденной правительством Архангельской области.

В рамках проекта «Арктический плавучий университет» была произведена комплексная проверка системы ледового мониторинга и ледовой проводки судов, уточнены методики ледового прогнозирования, сбора массива геоданных, включающего информацию о местоположении, направлении следования и скорости судна в любой момент.

Предложения по созданию системы ледовой проводки

На основе методик и наработок, использованных при информационно-навигационном обеспечении экспедиции, авторы сформировали ряд предложений, необходимых при создании масштабной системы обеспечения ледовой

проводки и навигации по маршруту Северного морского пути.

В первую очередь необходимо отказаться от существующей практики «запрос – ответ», когда заявка на получение информации по ледовой обстановке с борта судна выполняется непосредственно после получения заказа. Вследствие такой методики реальная ситуация, когда выполнить заказ в требуемые сроки физически невозможно. Причины могут быть различны: неготовность необходимого пакета данных для предварительного анализа обстановки, невозможность провести оперативную съемку требуемого участка и пр. Запрос часто увязан с возникновением чрезвычайной ситуации, и невозможность оказать информационную поддержку может привести к потерям технического и репутационного характера, не говоря уже о человеческих жертвах.

По мнению авторов, система ледового мониторинга должна формироваться на базе нескольких центров. Ее необходимо реализовывать на постоянной основе с обновлением ситуации по ледовой обстановке еженедельно в спокойные периоды с переходом на ежедневный режим обновления данных в зимне-весенний период на опасных участках Северного морского пути.

Основой системы ледового мониторинга должны являться данные радарных съемок с космических аппаратов как наиболее информативные и доступные на текущий момент. Отсутствие отечественных аппаратов данного типа приводит к необходимости использовать на данном этапе зарубежные спутники. Соответственно, разработка, запуск и введение в эксплуатацию российской радарной системы гражданского назначения являются насущными задачами для создания эффективной и независимой системы мониторинга ледовой обстановки.

Информация должна передаваться на борт судна через систему спутниковой связи, что опять же ставит задачу создания эффективной системы передачи данных в высоких широтах. Разработка и введение в действие такой системы необходимы не только в рамках ледового мониторинга, такая система позволит решить проблему связи и охвата информационным полем всех арктических территорий Российской Федерации.

Пакет данных, передаваемых на борт судна, должен включать текущую

ледовую обстановку, ее прогноз на ближайший период, а также информацию метеорологического характера.

Центры мониторинга ледовой обстановки должны работать в общем информационном пространстве по единой методике, с формированием на основе имеющейся информации карты ледовой обстановки по всей акватории Северного морского пути. ■

Литература

1. Йоханнесен О. М., Александров В. Ю., Фролов И. Е. и др. Научные исследования в Арктике. СПб.: Наука, 2007. Т. 3: Дистанционное зондирование морских льдов на Северном морском пути: изучение, применение. 512 с.
2. Кутинов Ю. Г., Боголицын К. Г., Чистова З. Б. Исследования северных территорий Земли из космоса: проблемы, свойства, состояние, возможности на примере МКС-Арктика: В 3 т. Екатеринбург: УрО РАН, 2012.
3. Майорова В. И., Гришко Д. А., Чагина В. А. и др. Возможности использования динамических локальных синусоид для краткосрочного прогнозирования ледовой обстановки в проливе Карские ворота по данным космической радиолокационной съемки // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Естественные науки». 2013, №1. С. 117–128.
4. Смирнов В. Г. Космические технологии в обеспечении безопасности морской деятельности, включая мореплавание по Северному морскому пути // Применение космических технологий для развития арктических регионов. Тез. Докл. Всеросс. конфер. Архангельск: ИПЦ САФУ. 2013. С. 17–18.
5. Федеральное государственное бюджетное учреждение АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ (ФГБУ «ААНИИ») [Электронный ресурс]: Анализ ледовой обстановки по данным ИСЗ – Режим доступа: <http://www.aari.nw.ru/main.php?lg=0>.
6. Ice Service: SAR data, MODIS, NOAA and METOP data, Ice Charts / Ansvarlig redaktør H. Lippestad // Meteorologisk institutt. URL: http://www.met.no/Hav_og_is/English/Activities_and_tasks/Sea_ice/Ice_Service/.
7. Daily monitoring of sea ice cover and dynamics in the Arctic Oceans using satellite Earth observation data // Nansen Environmental and Remote Sensing Center. URL: <http://www.nersc.no/data>.