

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО КАРТИРОВАНИЯ И ДОЛГОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

И.С. Тренина

НИЦ «Планета». E-mail: pingvin@planet.iitp.ru

Развитие науки о Земле в последние годы характеризуется пристальным изучением Мирового океана. Особая роль в изучении природных объектов принадлежит данным дистанционного зондирования Земли. Использование методов дистанционного зондирования является особенно актуальным для России, обладающей обширными и труднодоступными акваториями с суровым климатом, в условиях сокращения наземной сети гидрометеорологических станций и объемов авиационных наблюдений.

Важность информации о состоянии и толщине ледяного покрова очевидна как для научных исследований, касающихся вопросов взаимодействия океана и атмосферы, так и для решения практических задач: обеспечения подводной и надводной навигации; строительства буровых платформ в районах нефтяного и газового промысла на шельфах морей; обеспечения безопасности в районах судоходных трасс и рыбного промысла; проектирования прибрежных сооружений.

В последнее двадцатилетие в России картирование ледовой обстановки осуществлялось на основе данных отечественных ИСЗ серий «Океан», «Ресурс», «Метеор» и зарубежных — TERRA, AQUA и спутников серии NOAA (США). Широкое распространение при картировании ледовой обстановки в полярных регионах Земли имеют данные спектрометра AVHRR, получаемые с ИСЗ NOAA (спектральные диапазоны: 0,58–0,68; 0,725–1,00; 3,55–3,93; 10,3–11,3; 11,5–12,5 мкм; полоса обзора: ~3000 км, разрешающая способность: 1,1 км). Основные параметры спутниковой аппаратуры, информация с которой доступна в России для мониторинга ледовой обстановки, представлены в таблице.

Основные технические характеристики аппаратуры ДЗЗ, используемой для мониторинга ледовой обстановки

Съемочная аппаратура	Спектральные диапазоны	Пространственное разрешение	Полоса обзора, км
МСУ-Э	0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,8–0,9 мкм	40 м	45
МСУ-СК	0,5–0,6; 0,6–0,7; 0,7–0,8; 10,4–12,6 мкм	140×550 м	600
МСУ-С	0,5–0,7; 0,7–1,0 мкм	345 м	1100
MODIS	36 каналов в диапазоне 0,54–14,3 мкм	250 м (2 канала), 500 м (5 каналов) и 1000 м (29 каналов)	2300
AVHRR	0,58–0,68; 0,725–1,00; 3,55–3,93; 10,3–11,3; 11,5–12,5 мкм	1,1 км	3000
РЛСБО	3,2 см	1,5–2 км	460

Информативность измерений ледяного покрова с ИСЗ обусловлена спектральными различиями в поглощении, отражении и рассеянии лучистой энергии от снежно-водно-ледяной поверхности в различном ее состоянии (таянии, замерзании, образовании трещин и разводий и т. д.). ИК-диапазон ИСЗ NOAA является наиболее используемым при построении ледовых карт. В данном диапазоне спектра хорошо распознаются молодые виды льда (от начальных видов до тонкого однолетнего льда). Влияние облачности и температуры воздуха в районе проведения космической съемки ограничивает применение информации ИК-диапазона (10,5–12,5 мкм). Ледовые наблюдения в ИК-диапазоне возможны только при отрицательных температурах воздуха (желательно не выше –6 °С). По этой причине они могут проводиться в Арктике с октября по май.

Кроме того, в данном диапазоне спектра хорошо распознаются только молодые виды льда (от начальных видов до тонкого однолетнего льда). Однолетние льды разной толщины и многолетний лед на ИК-изображениях практически не различаются.

Наиболее эффективными средствами наблюдения за состоянием ледяного покрова являются данные, получаемые с РЛС БО ИСЗ серии «Океан» (длина волны 3,2 см, полоса обзора ~460 км, разрешающая способность 1,5–2 км). В отличие от информации видимого и инфракрасного диапазонов, радиолокационные данные являются всепогодными (не зависят от освещенности и облачного покрова). На радиолокационных изображениях различается достаточный для уверенного дешифрирования контраст между льдами различного возраста.

Радиометрические наблюдения (данные РМ08 ИСЗ серии «Океан») имеют низкую разрешающую способность (15–18 км), что не позволяет обнаруживать и распознавать многие ледовые объекты на космических снимках. В целом эта информация имеет скорее режимный, климатический характер, а не оперативный для обеспечения судоходства. Однако, при совместном использовании с другими спутниковыми данными (например, с данными РЛС БО ИСЗ серии «Океан»), она позволяет уточнять и дополнять информацию о состоянии ледяного покрова (например, определять положение кромки льда при взволнованной морской поверхности).

Картирование ледовой обстановки по данным РЛС БО ИСЗ «Океан» (объекты ледовых карт представлены в относительных величинах яркости радиолокационных изображений) осуществляется, в основном, визуальными методами дешифрирования. В связи с невозможностью (во многих случаях) определения по данным РЛС БО ИСЗ «Океан» границы между льдом и взволнованной морской поверхностью при построении карт ледовой обстановки целесообразно использовать метод комплексирования радиолокационных (РЛС БО) и радиометрических (РМ08) изображений.

В НИЦ «Планета» разработана технология для оперативного картирования и изучения долговременных характеристик ледяного покрова, обеспечивающая обработку текущей и архивной спутниковой информации. Обработка спутниковых данных включает такие процедуры, как яркостная коррекция космических изображений, формирование картографической основы, трансформирование спутниковых данных в картографическую проекцию, и тематическую интерпретацию спутниковой информации.

Завершающий элемент технологии обработки спутниковых данных — тематическая интерпретация параметров ледяного покрова выполняется с помощью методов интерактивного дешифрирования. Данная процедура по-прежнему осуществляется вручную специалистом-дешифровщиком; точность и достоверность карт ледовой обстановки зависит от опыта дешифровщика. Необходимость использования визуального анализа при построении карт ледовой обстановки связана с учетом больших объемов практических и экспертных знаний, не поддающихся формализации, таких как:

- анализ климатической изменчивости характеристик ледяного покрова на данной акватории;
- анализ ледовой обстановки, полученной на основе данных космической съемки в предшествующий и исследуемый период;
- анализ гидрометеорологической ситуации;
- опыта специалиста-дешифровщика при определении границы между элементами карты ледовой обстановки (каждый элемент карты может содержать лед разной сплоченности, различных возрастных градаций и форм).

Разработанная технология картирования по спутниковым данным ледяного покрова в настоящее время интегрирована в многофункциональную программную систему «PlanetaMeteo», создаваемую в последние годы в НИЦ «Планета». В системе сочетаются функции предварительной и тематической обработки данных ДЗЗ с использованием авто-

материзированных и интерактивных технологий и географической информационной системы (ГИС).

Система осуществляет формирование в интерактивном режиме картографических основ для любой территории земного шара масштаба 1:1 000 000 или грубее. Кроме традиционных процедур обработки данных ДЗЗ и построения тематических карт, в системе реализованы новые функции. Это касается, прежде всего, процедур интерактивного дешифрирования, возможности которых в рамках данной системы существенно расширились. В системе реализованы: оконтуривание ледяных образований на космических изображениях, цветовая заливка и штриховка оконтуренных объектов, нанесение на карту-схему ледовой обстановки условных обозначений, соответствующих номенклатуре ледовых знаков «Атласа ледовых образований», разработанного ААНИИ. Введение в технологию картирования данного новшества позволило привести создаваемые карты ледовой обстановки в соответствие с требованиями внутренних ведомственных и международных стандартов. С учетом вышеизложенного, на рис. 1. представлены примеры карт ледовой обстановки на Белом, Азовском и Каспийском морях, построенных в многофункциональной программной системе по данным ИСЗ NOAA, которые впоследствии были интегрированы в специализированный цифровой архив информационной продукции.

Ежегодно в рамках оперативной деятельности в НИЦ «Планета» при тесном сотрудничестве с ААНИИ, ГМЦ и ГОИН по данной технологии выпускается более 600 карт-схем и мозаик ледовой обстановки Арктики, Антарктики, а также внутренних морей России.

Спутниковые радиолокационные данные, принятые и оперативно обработанные в НИЦ «Планета», неоднократно использовались в чрезвычайных условиях при проводке и освобождении из ледового плена судов на участках Севморпути. Самыми опасными и труднопроходимыми для судоходства участками трассы Севморпути являются проливы Лонга и Вилькицкого и примыкающие к ним акватории. В отдельные годы на данных участках трассы Севморпути имела место аномально сложная ледовая обстановка.

В эти периоды в НИЦ «Планета» проводилась оперативная обработка данных РЛС БО. Радиолокационная информация и результаты ее обработки широко использовались при проводке судов. Образец ледовой карты, составленной по информации РЛС БО (по обзорной цифровой мозаике из разновременных радиолокационных изображений), представлен на рис. 2.

Кроме оперативных задач, технология картирования ледяного покрова использовалась и при выполнении различных долговременных проектов:

- для исследования межгодовой изменчивости ледяного покрова в западном секторе Арктики по данным радиолокационных измерений ИСЗ серии «Океан»;
- российско-европейского проекта ICEWATCH по оперативному картированию ледовой обстановки на трассе Севморпути на основе совместной обработки данных ИСЗ «Океан» и ERS,
- при разработке проектной документации на строительство мостового перехода с материка на о. Сахалин (изучение ледовых характеристик в проливе Невельского).

Многолетняя динамика морского ледяного покрова в Арктике играет важную роль при изучении изменений регионального и глобального климата. Характеристики полярных ледяных покровов (протяженность морского ледяного покрова, положения границ многолетнего и однолетнего льда) чувствительны к изменениям климата и могут служить индикаторами сезонной и долговременной климатической изменчивости.

Пространственные характеристики морского льда в Арктике можно исследовать на основе использования данных РЛС БО ИСЗ серии «Океан». Радиолокационные изображения имеют более высокое пространственное разрешение (1,5–2 км) по сравнению с данными SSMI/SSMR (~25 км), а также более высокие радиолокационные контрасты на границах раздела различных типов льда.

Для анализа многолетней динамики многолетнего и однолетнего льда в качестве основного месяца для сравнения ледовой обстановки в разные годы был выбран декабрь, а наиболее освещенной спутниковой информацией акваторией — западный сектор Арктики.

Радиолокационные изображения ИСЗ серии «Океан» имеют полосу обзора ~460 км. Для покрытия всей территории западного сектора Арктики космической съемкой использовалось от 4 до 10 изображений РЛС БО ИСЗ серии «Океан». Главными объектами исследования на территории западного сектора Арктики являются многолетний и однолетний лед, а также их границы раздела. При этом под границей распространения однолетнего льда в данной работе понимается граница между открытой водой и льдом, а под границей распространения многолетнего льда — граница между многолетним льдом и любым другим типом морского льда, отличающегося от многолетнего.

Для надежного выделения границы распространения однолетнего льда на фоне взволнованной морской поверхности в качестве дополнительной информации использовались данные микроволнового радиометра РМ08 ИСЗ серии «Океан».

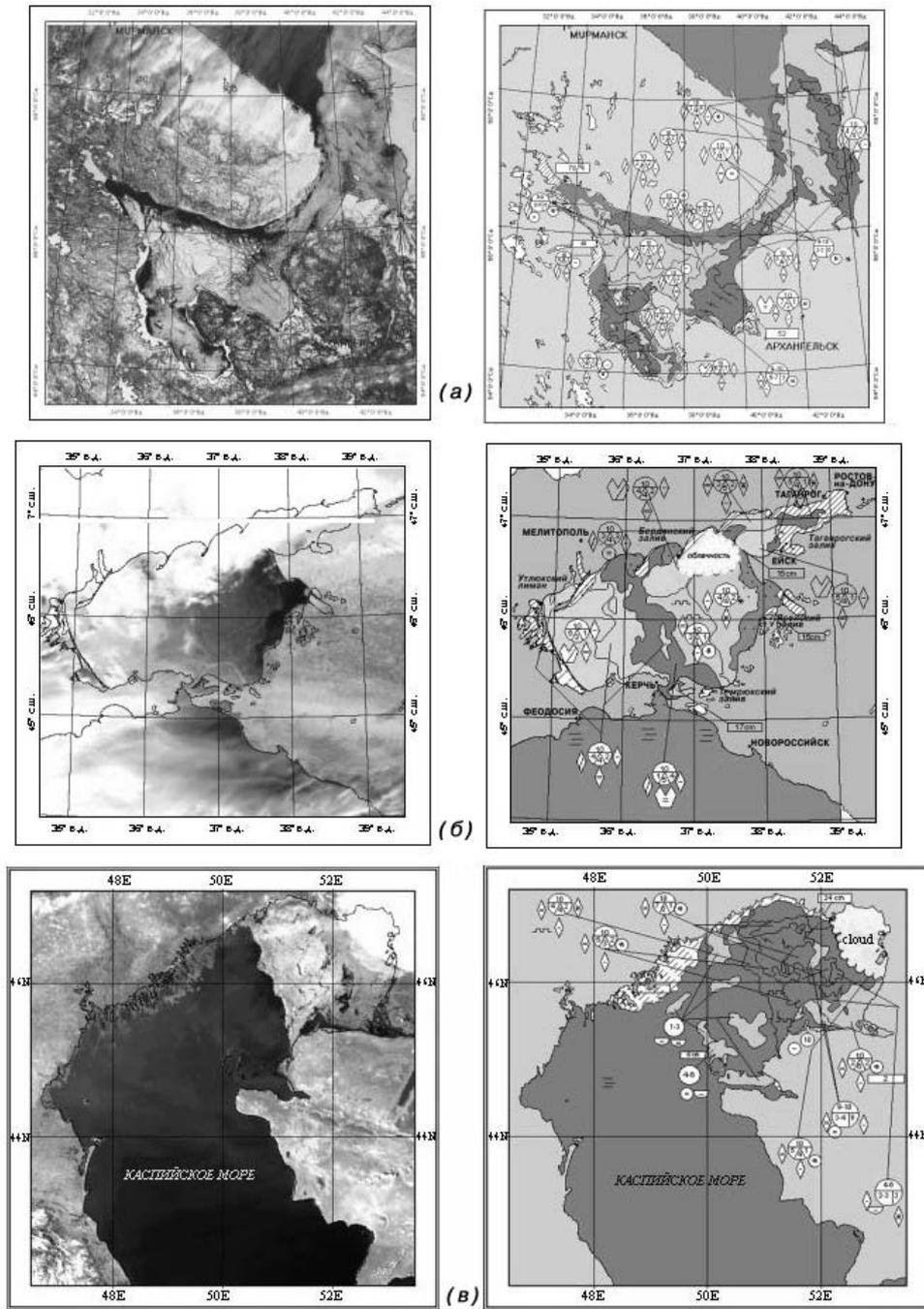
Согласно изложенной последовательности, были выполнены радиолокационные мозаики и карты-схемы распределения границ многолетнего и однолетнего льда в зимние периоды 1983/84, 1984/85, 1985/86, 1986/87, 1987/88 и 1988/89 гг.

На рис. 3 представлена ранжированная по годам последовательность карт-схем распространения многолетнего и однолетнего льда в зимние периоды 1983/88 и 1994/99 гг., построенных с учетом специфики обработки радиолокационных данных.

Достоверность построения карт-схем распространения многолетнего и однолетнего льда проверялась на основе сравнения этих карт с комплексными картами ледовой обстановки, построенными по данным авиаразведок, ИСЗ NOAA и судовых наблюдений. Комплексные карты ледовой обстановки всей территории Арктики до 1995 г. составлялись один раз в декаду в морском отделе Гидрометцентра РФ. Основу таких карт составляли данные авиаразведок, так как именно они дают наиболее полный перечень характеристик морского льда. Однако обеспечить непрерывность рядов декадных карт ледовой обстановки на огромной территории и при наличии фактора «нелетной погоды» было практически не возможно. Поэтому в многолетних рядах карт имеются пропуски.

Сопоставление по времени карт-схем распространения многолетнего и однолетнего льда, построенных по радиолокационным данным, с комплексными картами ледовой обстановки показало, что из 12 карт-схем сравнить можно только 4. Это карты-схемы распространения многолетнего и однолетнего льда в зимние периоды 1984/85, 1985/86, 1988/89 и 1994/95 гг. В 1994 г. была построена карта-схема распространения многолетнего и однолетнего льда на основе данных спутниковой радиолокационной съемки, проведенной с 21 по 29 декабря 1994 г., и в этот же период была построена последняя комплексная карта ледовой обстановки с использованием данных авиационных разведок. Сопоставление карты-схемы распространения многолетнего и однолетнего льда в зимний период 1988/89 г. с комплексной картой ледовой обстановки, построенной с использованием данных авиационных разведок, представлено на рис. 4.

Оценка рассогласования границ многолетнего и однолетнего льда в западном секторе Арктики проводилась по четырем парам карт. Отклонение положений кромок многолетнего и однолетнего льда определялось по долготе с дискретностью 5° . Среднеквадратическая погрешность определения границ льда составила 8–12 км. Анализ радиолокационных мозаик и тематических карт ледяного покрова, характеризующих климатическую межгодовую изменчивость характеристик морского льда в западном секторе Арктики, показывает, что межгодовые изменения границ распространения многолетнего и однолетнего льда имеют значительные вариации.



Условные обозначения

<p><i>Возрастные характеристики (толщина) реифирующего льда в см:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ - чистая вода ★ - нилас, окляка (до 10) ■ - серый лед (10-15) ■ - серо-белый лед (15-30) ■ - тонкий одюлетный (большой) лед (30-70) ■ - одюлетный лед средней толщины (70-120) ■ - толстый одюлетный лед (>120) 	<p><i>Возрастные характеристики (толщина) припая в см:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ - молодые льды (10-30) ■ - тонкий одюлетный большой лед (30-70) ■ - одюлетный лед средней толщины (70-120) ■ - толстый одюлетный лед (>120) 	<p><i>Формы плавучего льда:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ••• - начальные виды льдов ☾ - блинный лед (0,3-3 м) ◐ - мелкобитый лед (2-20 м) ○ - крупнобитый лед (20-100 м) ◇ - обломки ледяных полей (100-500 м) ⬠ - большие поля (6,5-2 км) 	<p><i>Обобщенные характеристики льда:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ①-3 - сплоченность льда в баллах ⑩/6/4 - возрастной состав дрейфующих льдов 10 - общий сплоченность 6 - количество более старого 4 - количество более молодого ★ 2 - жизнеспособность льда (от 1 до 3 баллов)
--	--	--	---

Рис. 1. Цветосинтезированные изображения ИСЗ NOAA-14, 16 AVHRR (1-й, 2-й, 4-й каналы) и карты-схемы ледовой обстановки в Белом (а), Азовском (б) и Каспийском (в) морях

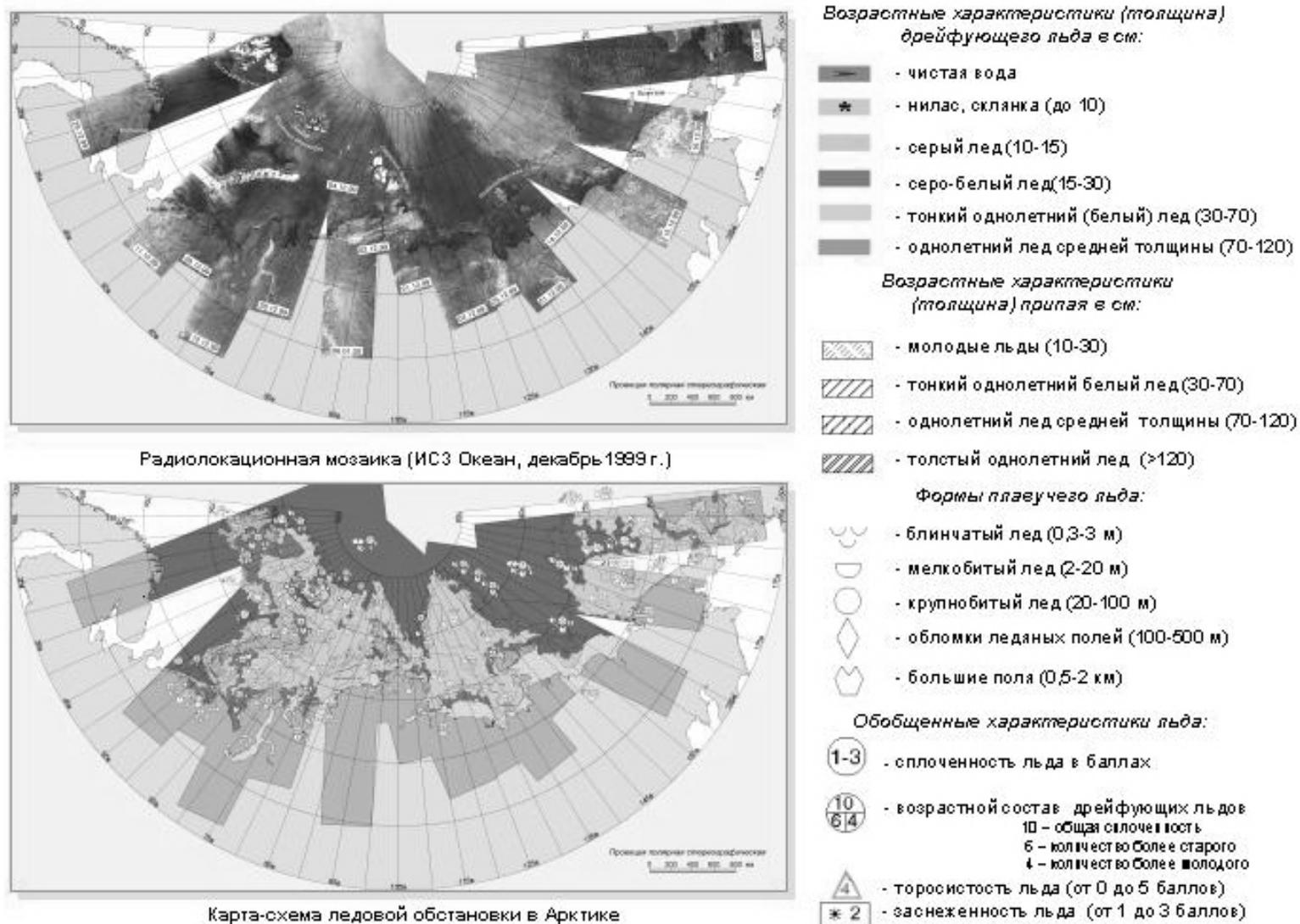


Рис. 2. Радиолокационная мозаика и карта-схема ледовой обстановки по западному и восточному сектору Арктики

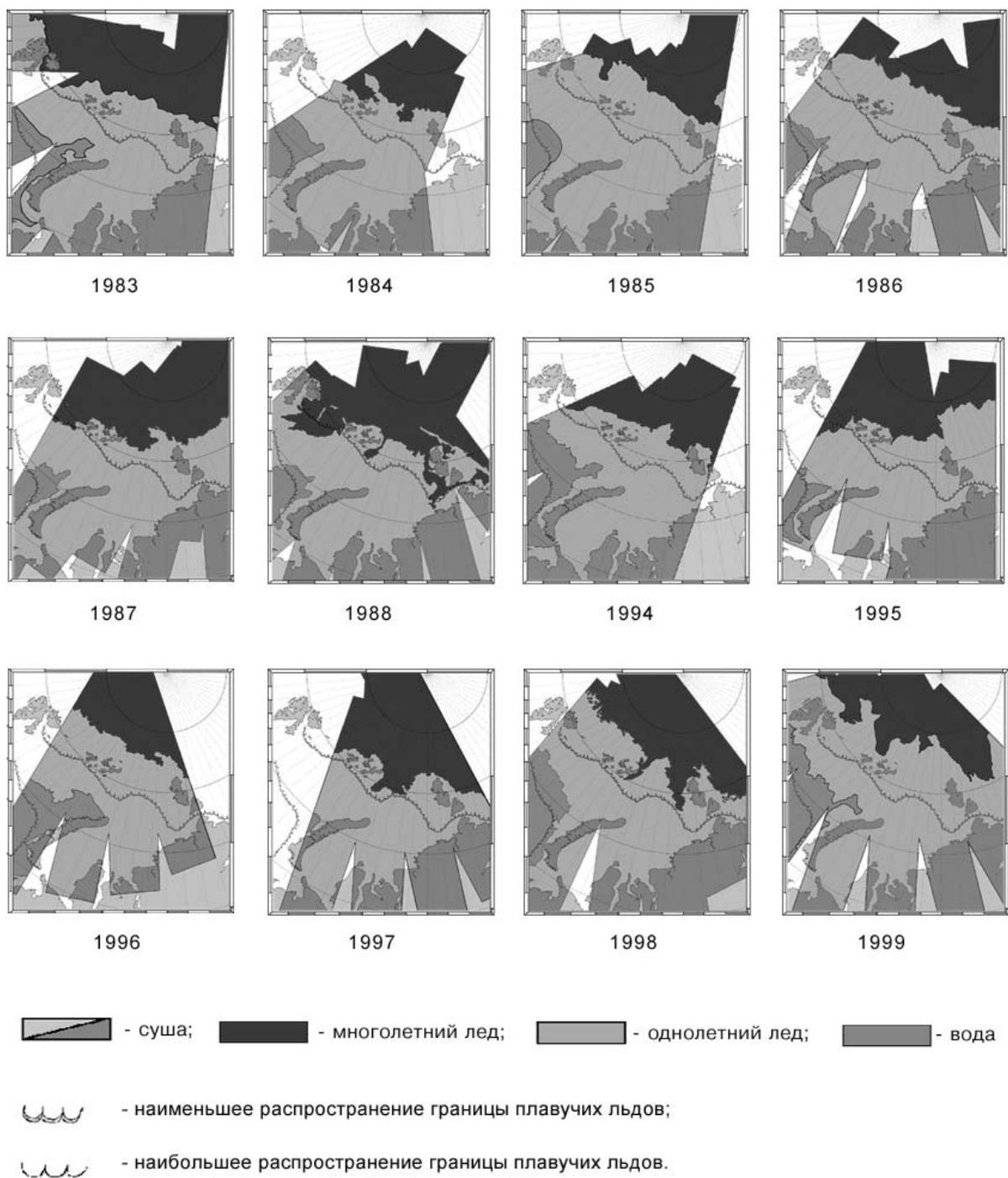
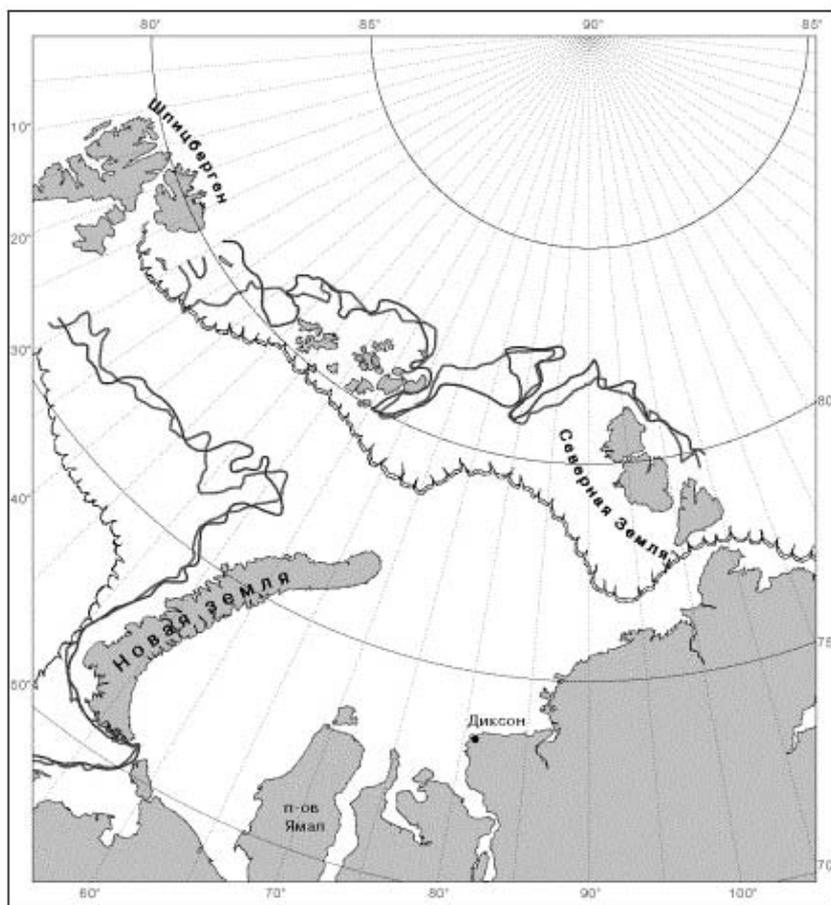


Рис. 3. Карты-схемы распространения многолетнего и однолетнего льда в зимние периоды



- - границы льда, построенные по данным РЛС БО
- - - границы льда, построенные по данным авиаразведки, информации с ИСЗ NOAA и судовых наблюдений

Рис. 4. Валидация распространения однолетнего льда

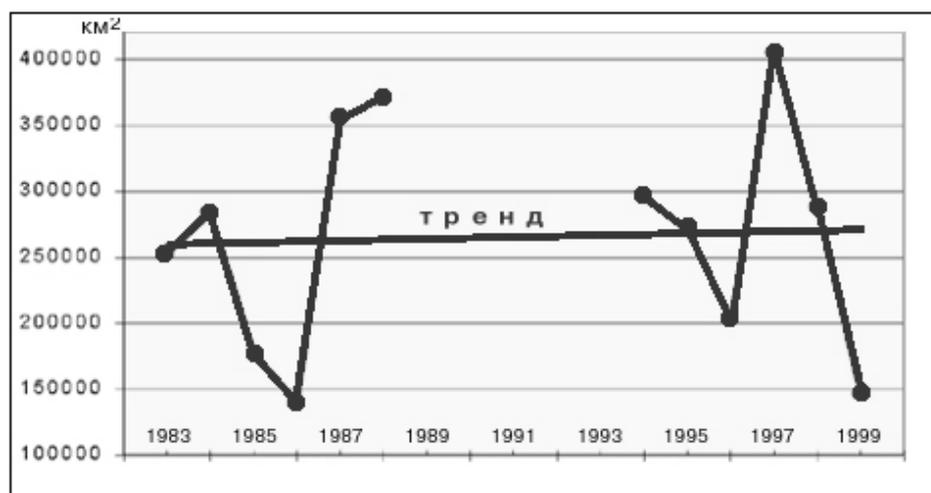


Рис. 5. Изменение площади многолетнего льда в зимние периоды 1983–1999 гг.

Карты-схемы ледовой обстановки в западном секторе Арктики, представленные на рис. 3, послужили основой для количественной оценки площади многолетнего льда. Оценка площади производилась в секторе, ограниченном южной кромкой многолетнего льда и 85° с.ш., а также $40\text{--}105^\circ$ в.д. Именно в этом секторе Арктики было обеспечено полное покрытие территории спутниковой радиолокационной съемкой с ИСЗ серии «Океан».

Данные об изменении площади многолетнего льда в зимние периоды 1983–2000 гг. представлены на рис. 5. Из графика видно, что площадь многолетнего льда в западном секторе Арктики в различные годы претерпевает значительные изменения, при этом средняя площадь многолетнего льда в 90-е гг. увеличилась приблизительно на 10 % по сравнению с 1980-ми гг.

Наличия 12-летнего ряда данных об изменениях площади многолетнего льда явно не достаточно для того, чтобы делать выводы о существенных климатических изменениях в западном секторе Арктики. Значительные межгодовые вариации площади многолетнего льда в западном секторе Арктики и его 10 % прирост в 1990-е гг., может быть объяснен перемещением полярной шапки за счет ее дрейфа в западном направлении. В 1995–1996 гг. НИЦ «Планета» принимал участие в реализации международного проекта «Спутниковый радиолокационный мониторинг ледовой обстановки на трассе Северного морского пути в реальном масштабе времени» (Проект ICEWATCH). В проекте участвовали ведущие европейские организации (в частности, NERSC — Nansen Environmental and Remote Sensing Center, TSS, ESRIN), специализирующиеся в области полярных ледовых исследований на основе использования космических технологий.

Целью данного проекта являлось оперативное картирование ледовой обстановки вдоль трассы Севморпути на основе комплексного использования спутниковой информации РЛС БО ИСЗ «Океан», имеющего широкую полосу обзора (470 км) и малое пространственное разрешение (1,5–2,0 км), и SAR ИСЗ ERS, имеющего узкую полосу обзора (100 км) и высокое пространственное разрешение (25 м). В качестве дополнительной информации использовались данные микроволнового радиометра PM08, а также данные MCSU-M и AVHRR (ИСЗ NOAA).

Районами исследования являлись участки трассы Севморпути с наиболее сложной ледовой обстановкой. В ходе выполнения данного проекта на основе данных РЛС БО ИСЗ «Океан» проводилась оценка ледовой обстановки обширных территорий Севморпути и определялись наиболее труднопроходимые для судоходства участки, на которых ледовая обстановка уточнялась по данным SAR ИСЗ ERS. По данным радиолокационных съемок были составлены карты ледовой обстановки на трассе Севморпути, которые оперативно распространялись на суда и ледоколы, находящиеся в арктическом плавании. Образцы ледовых карт представлены на рис. 6. Комплексное использование данных ИСЗ «Океан» и ERS позволило более рационально использовать ресурсы российского и европейского радиолокаторов и в то же время иметь более полную информацию по ледовой обстановке на трассе Севморпути.

При реализации данного проекта осуществлялся оперативный обмен «сырыми» и обработанными радиолокационными данными между НИЦ «Планета» и NERSC, а также между НИЦ «Планета» и ААНИИ по телекоммуникационным каналам.

В НИЦ «Планета» проводились также исследования пространственно-временной изменчивости характеристик морского льда в проливе Невельского при разработке проектной документации на строительство мостового перехода с материка на о-ве Сахалин.

В ходе реализации проекта были проведены комплексные исследования на основе использования многолетних рядов данных спутниковых, авиационных и наземных наблюдений. При этом основным видом информационного обеспечения в проливе Невельского были архивные спутниковые данные, позволяющие одновременно охватывать космической съемкой всю территорию пролива. В частности, использовались архивные данные

спутниковых наблюдений со сканеров высокого (МСУ-Э) и среднего (МСУ-СК) разрешения ИСЗ «Ресурс-О1» № 2 («Космос-1939»), а также среднего (МСУ-С) разрешения ИСЗ «Океан-О1» № 1–6, регулярно проводившиеся в зимний период над проливом Невельского с 1985 по 1992 г.

Все, предварительно обработанные (с яркостной, геометрической коррекцией, трансформированные в единую картографическую основу), спутниковые изображения были систематизированы подекадно. Пример систематизации спутниковых изображений, прошедших стадию предварительной обработки, за третью декаду января представлен на рис. 7.

Трудности решения данной задачи заключаются в том, что ни в России, ни в мире, раньше не было аналогов подобного строительства мостов длиной 7–8 км, проходящего над морем в суровых климатических условиях. Особую опасность для проектирования и строительства мостового перехода представляет ледовая обстановка в проливе Невельского, которая существует 7 месяцев в году — с ноября по май.

В работе использовались данные ледовых авиаразведок, проводимых в проливе Невельского в 1956/57, 1963–1967 и 1974–1989 гг. (всего за 23 года). Материалы авиационных наблюдений были взяты из архива Гидрометцентра России. На основе данных, полученных за 23-летний период авиационных наблюдений ледовой обстановки в проливе Невельского, была составлена сводная таблица, в которой приведены основные характеристики льда, определяемые по данным авиаразведок. В данной таблице ледовые характеристики систематизированы в пространстве (западная, центральная и восточная части северного и южного створов) (слайд) и во времени (по декадам ледового периода). Кроме того, в таблице, кроме возраста, сплоченности и форм льда, приводятся данные о его торосистости, заснеженности и разрушенности.

Кроме этого, в работе были использованы данные наземных наблюдений, проводимых на гидрометеорологических станциях Погиби и Лазарев, а также станции Джаорэ, расположенной севернее пролива Невельского. Данные о температуре воздуха, скорости и направлении ветра за 1985–1996 гг. (около 30 000 значений по каждому параметру) были взяты из архива ВНИИГМИ-МЦД). Данные о толщине припайного льда на гидрометеорологических станциях Погиби (за 1953/54, 1961–1972 и 1982 гг.) и Лазарев (за 1971–1988 гг.) были взяты из архива Гидрометцентра России, также систематизированы, по ним построены графики и розы ветров (рис. 8).

Для каждой декады ледового периода выбиралась ситуация максимального и минимального распространения льда в проливе Невельского, по которым были построены тематические карты-схемы ледовой обстановки по данным МСУ-С и МСУ-СК.

При построении карт-схем ледовой обстановки на основе данных МСУ-Э применялась двухступенчатая технология тематической обработки спутниковых данных. В связи с тем, что увеличение разрешающей способности спутниковой информации приводит к проявлению детализации и усложнению структуры ледяных полей, увеличивается вероятность появления ошибок при проведении интерактивного дешифрирования. Для снижения вероятности ошибок операторов на первом этапе проводилась тематическая обработка с использованием объективных методов автоматизированной классификации (кластерный анализ, метод К-средних). При этом каждый выделенный объект соответствовал только одной возрастной категории морского льда. На втором этапе, с учетом анализа статистик выделенных классов и карт ледовой обстановки, полученных в предшествующий период, проводилась обработка на основе субъективных методов интерактивного дешифрирования. В результате данной процедуры производилось объединение (укрупнение) выделенных классов в объекты тематической карты, в которой каждый объект может состоять из нескольких видов льда, различающихся по возрастному составу, сплоченности и формам льда.

Тематические карты ледовой обстановки являлись исходной информацией для проведения статистического анализа пространственно-временной изменчивости ледовых пара-

метров в проливе Невельского. Анализ рядов данных спутниковых наблюдений (за 1985–1992 гг.) позволил выявить случаи появления больших и обширных ледяных полей в районе южного створа пролива Невельского, представляющих наибольшую опасность для проведения строительных работ. Снижение опасности от встречи с формами льда больших размеров можно достичь, искусственно уменьшая их размеры. Поскольку преобладающими возрастными формами льда являются серые и серо-белые льды, то для их разрушения, по нашему мнению, достаточно наличия портового ледакола.

Проведенный анализ многолетних рядов спутниковых, аэровизуальных и наземных наблюдений позволил выявить особенности динамики большинства параметров ледяного покрова на данной территории в течение всего ледового периода:

- в умеренные и мягкие зимы плавучий лед представляет большую опасность при проведении морских операций, чем в суровые зимы;
- период с января по март является временем наиболее интенсивного выноса больших форм льда через южный створ в любую зиму;
- резкие изменения метеорологической обстановки (резкое похолодание или потепление, усиление ветра и др.) способствуют образованию и развитию форм льда больших размеров.

Полученные сведения о ледовой обстановке в проливе Невельского использованы для проектирования мостового перехода с материка на о-в Сахалин.

Результаты обработки данных наземных наблюдений, так же как спутниковых и авиационных данных, были интегрированы в специализированный цифровой архив данных. В качестве оболочки для размещения спутниковой, аэровизуальной и наземной информации, а также результатов их обработки был выбран один из наиболее доступных для широкого пользования программных пакетов Microsoft Access'2000.

Литература

1. Морской лед. Сбор и анализ данных наблюдений, физические свойства и прогнозирование ледовых условий: Справочное пособие / Под ред. Фролова И.Е., Гаврило В.П. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. 402 с.
2. Радиолокация поверхности Земли из космоса. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 200 с.
3. Исследование ледяного покрова с помощью радиолокационной станции бокового обзора (РЛС БО): Методическое пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 120 с.
4. Методические указания по вопросам приема, обработки и использования спутниковой ледовой информации. Вып. 1. Определение характеристик ледяного покрова по радиолокационным снимкам ИСЗ «Космос-1500». Л.: АНИИ, 1985. 75 с.
5. Методические указания по комплексному использованию спутниковой информации для изучения морей. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 144 с.
6. Дешифрирование морского льда Дальневосточных морей по данным радиолокационного зондирования: Методическое пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 56 с.
7. Бушуев А.В., Волков Н.А., Лоцилов В.С. Атлас ледовых образований. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 138 с.

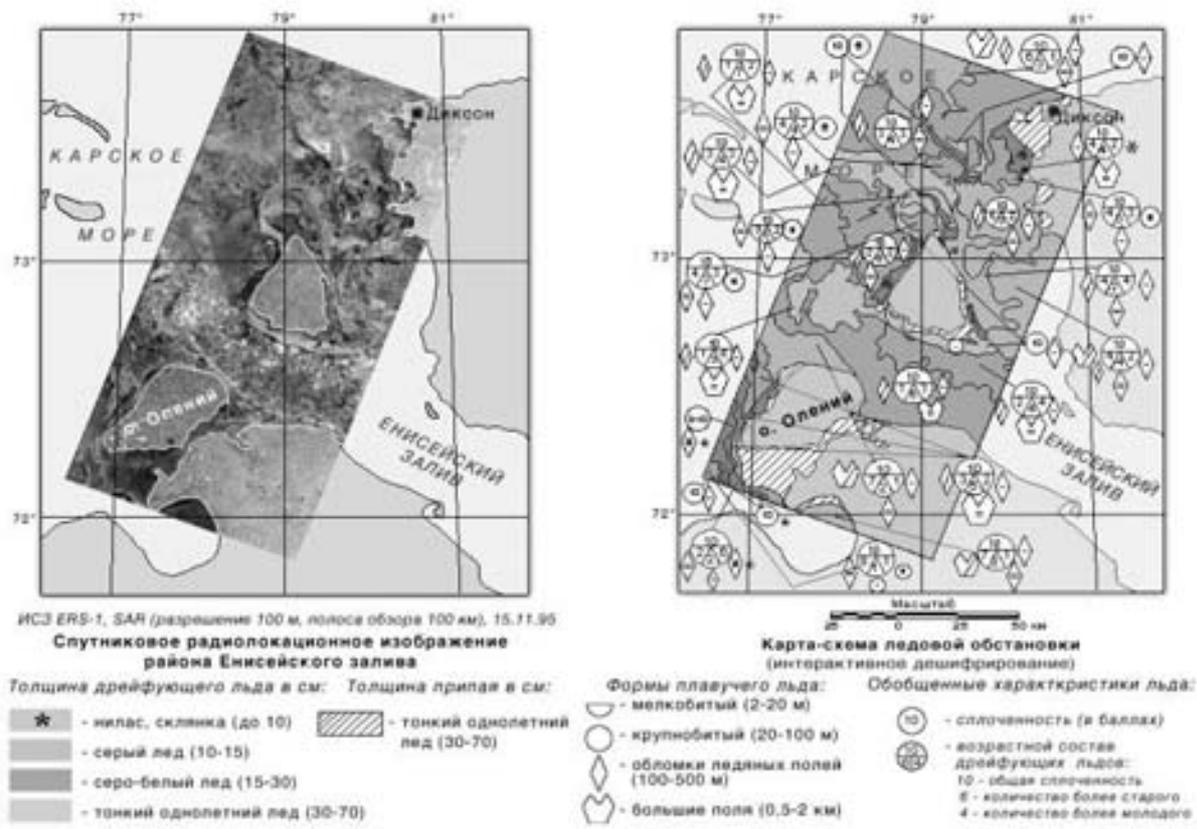
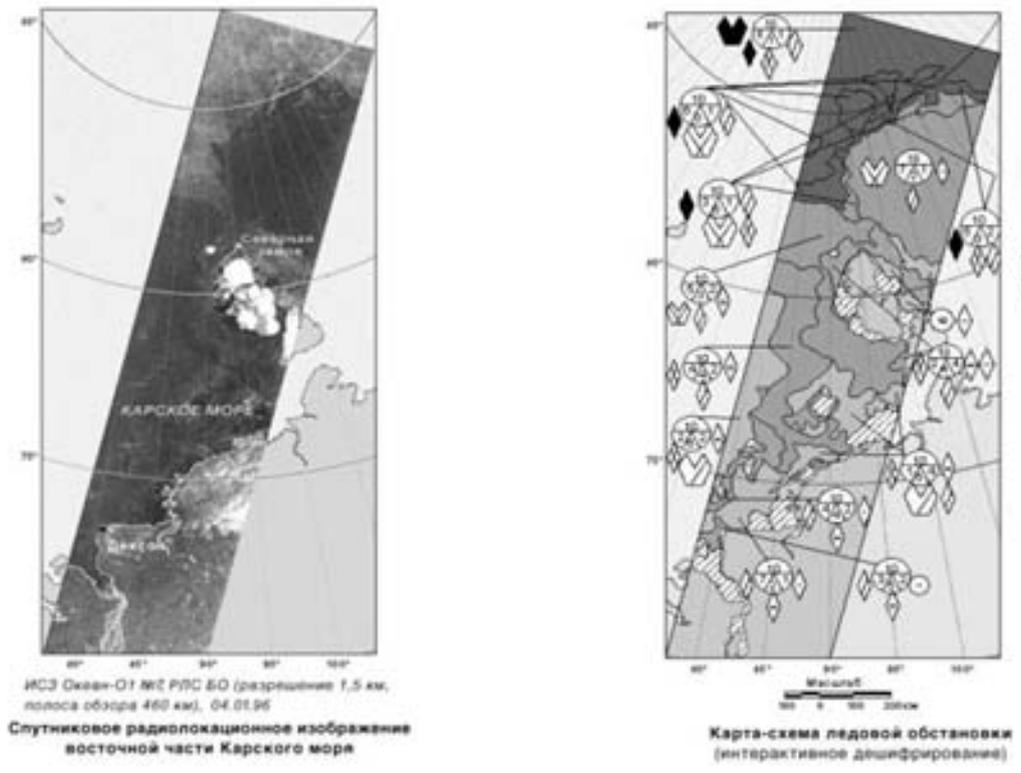


Рис. 6. Ледовая обстановка на участке трассы Севморпути по данным РЛС БО ИСЗ «Океан» и SAR ERS (проект ICEWATCH)

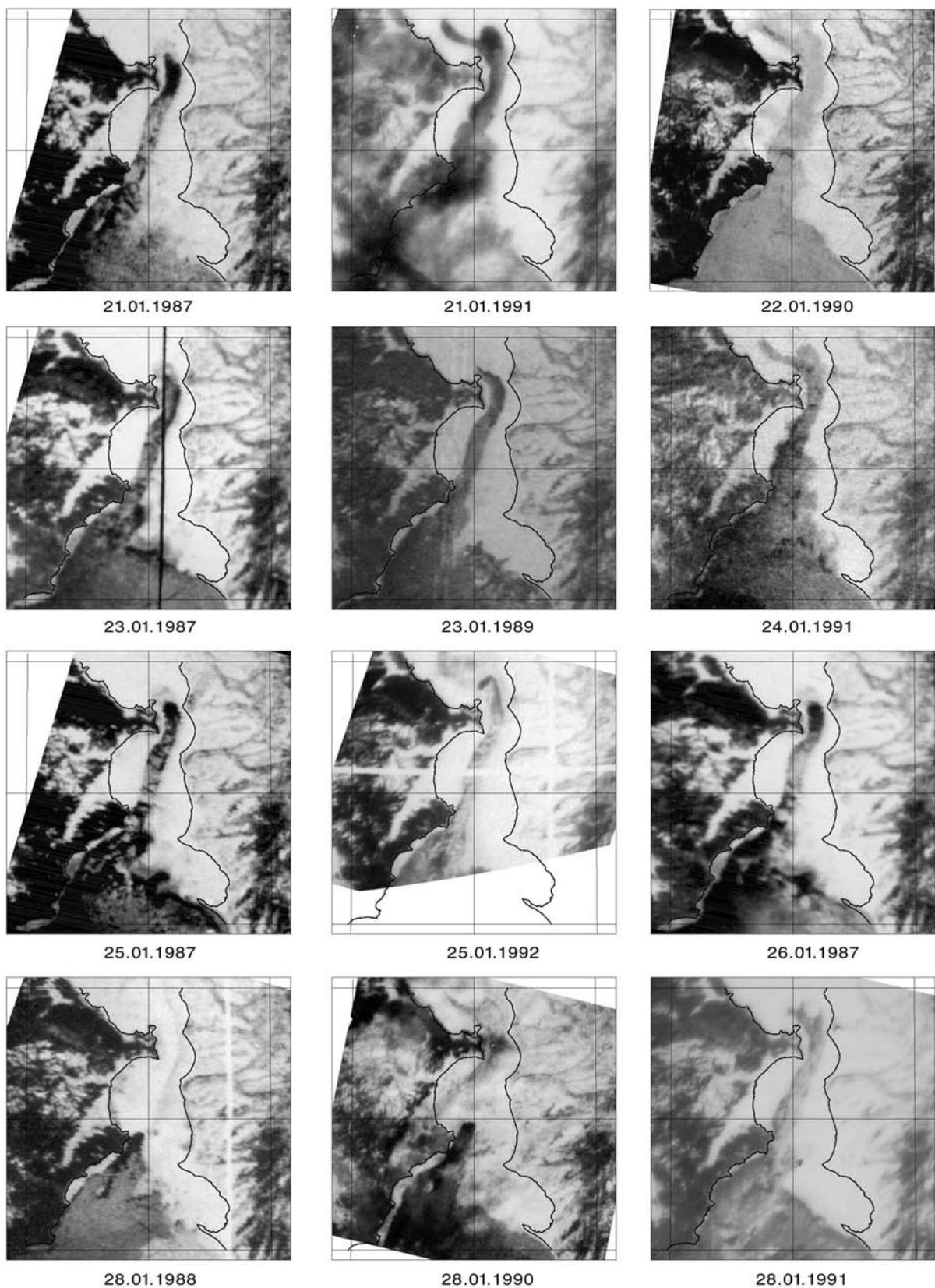


Рис. 7. Пример систематизации спутниковых изображений пролива Невельского, прошедших стадию предварительной обработки (третья декада января 1985–1992 гг.)

