

УДК 551.501:629.195.1

КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ИСЗ «RADARSAT-1»

Доктор техн. наук, проф.	А.Ф. Мухамедгалиев
Канд. геогр. наук	А.Х. Ахмеджанов
Канд. техн. наук	Б.Э. Бекмухамедов
	Т.К. Караданов
	А.А. Мухамедгалиев

Рассмотрена возможность применения данных дистанционного радиолокационного зондирования для наблюдений за динамикой и оценки состояния ледового покрова на Каспийском море.

Особое внимание к ледовой обстановке вызвано развитием нефтедобычи на шельфе Каспийского моря. На Северном Каспии в суровые зимы устанавливается мощный, устойчивый и труднопроходимый ледовый покров. Он препятствует нормальному судоходству и приводит к разрушению морских сооружений. С практической точки зрения, информация о пространственном распределении, дрейфе, типе, возрасте и концентрации морского льда необходима для обеспечения безопасности навигации, рыболовства, добычи нефти и газа в период замерзания моря. Результаты изучения ледовых режимов в зависимости от климатических и гидрологических условий представлены в [1-3, 5]. Исследования дрейфа морского льда по данным наблюдений из космоса помогают прогнозировать образование зон сжатий (торосов) и растяжений (трещин, разводий, полыньи) морского льда. Масштабность космических методов позволяет получать данные для изучения поверхностных течений, что также представляет научный и практический интерес [4].

В отличие от бортовых приборов, обеспечивающих съемку Земли в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах, радиолокационные устройства позволяют получать информацию об исследуемой поверхности независимо от ее освещенности (т.е. в любое время суток) и наличия облачного покрова. Указанное свойство радиолокационных данных представляет

особую ценность при решении задач, связанных с необходимостью получения информации о состоянии ледяного покрова заданной территории в сжатые сроки (независимо от погодных условий и времени суток). Возможность получения информации независимо от освещенности и наличия облачного покрова с помощью спутниковых радиолокационных приборов представляет особый интерес для изучения ледового режима Каспийского моря. Его географическое расположение определяет слабую освещенность (короткий световой день в холодный период) и высокий процент покрытия облачностью большей части территории. Кроме того, обширные территории казахстанской части побережья Каспийского моря характеризуются низкой плотностью населения и труднодоступностью прибрежной зоны, что существенно ограничивает возможности наземных исследований. Проведение самолетных наблюдений в акватории Каспийского моря в настоящее время не реально из-за ограниченности финансирования этих работ. Для обследования ледовой обстановки могут быть полезны регулярные радиолокационные исследования, осуществляемые с помощью спутниковой системой «RADARSAT-1».

В данной работе представлена технология создания электронных ледовых карт на основе радиолокационных данных, что позволит провести анализ и дать оценку состоянию ледовых полей.

При построении ледовых карт в качестве программной оболочки используется ПО ERDAS IMAGINE-8.9 и ArcGIS-9. Регистрация изображения и наличие расширенного инструментария для автоматизированной текстурной классификации и векторизации ледовых объектов (монолитный лед, группы сплоченности льда, трещины) позволяет весь процесс дешифровки и построения векторной ледовой карты Каспийского моря осуществлять с помощью ПО ArcGIS-9. Общая схема создания карты ледовой обстановки следующая:

- точная географическая регистрация спутникового снимка;
- автоматизированная текстурная классификация ледовых зон;
- автоматизированная векторизация ледовых зон;
- редактирование векторного слоя;
- подготовка и создание ледовой карты.

После точной регистрации космических снимков к выбранной географической системе координат (рис. 1а, б) проводится текстурная классификация космического снимка при помощи встроенного инструмента ПО ERDAS IMAGINE-8.9.

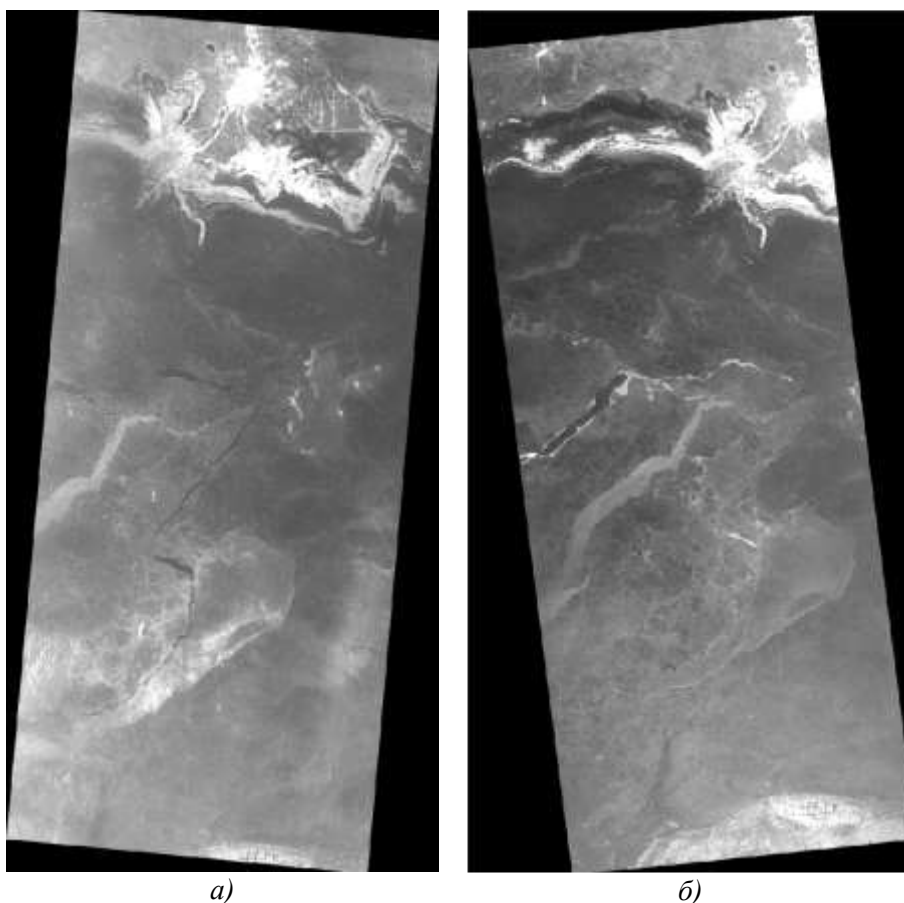


Рис. 1. Космический снимок с ИСЗ «Radarsat» северной части Каспийского моря за 16.02.2006 г. (а) и за 17.02.2006 г. (б).

Следующий этап позволяет провести автоматизированную векторизацию ледовых зон в полноценный векторный слой. Последовательно выделяя на экране каждый векторный слой, вводят ледовые характеристики. Одновременно создаётся соответствующий векторный слой со специальной легендой, которая раскрашивает ледовую карту согласно принятой номенклатуре. Добавление ледовых зон или их вставка в векторную карту осуществляется аналогичным образом. При добавлении к векторному слою ледовой карты очередной ледовой зоны она претерпевает некоторую корректировку. В результате происходит её вырезание по линии берега и границам других зон. Если соседние зоны имеют одинаковые ледовые характеристики, то они объединяются в одну зону. Редактирование векторного слоя представляет собой важный этап работы при создании ледовой

карты. Следующий этап работы обеспечивает внешнее оформление карты. Оно включает в себя, прежде всего, основные картографические элементы – выбор проекции карты и её главного масштаба. Масштаб карты выбирается произвольно и зависит от характера решаемой задачи. Наложение географической сетки осуществляется при помощи соответствующего инструмента из стандартного набора. Раскраска карты осуществляется в различных вариантах в зависимости от решаемых задач. Контекстное меню позволяет выбрать вместо стандартной раскраски, которая используется при создании векторного слоя, следующие четыре варианта:

- раскраска по общей сплоченности льдов;
- раскраска по возрасту;
- специальная раскраска с выделением старых льдов;
- выделением границ зон.

На рис.2 представлены изображение участка из космического снимка за 16.02.2006 г. (а) и изображение этого участка, обработанное методом сглаживания (б).

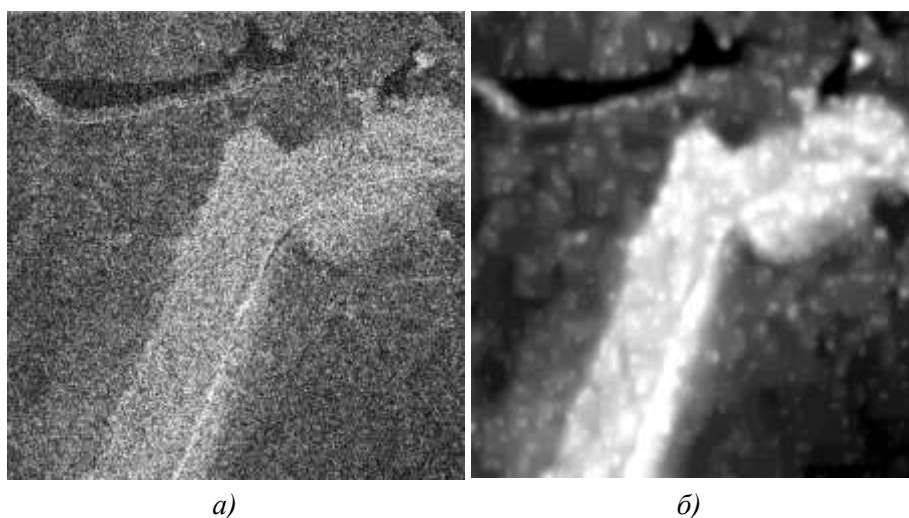
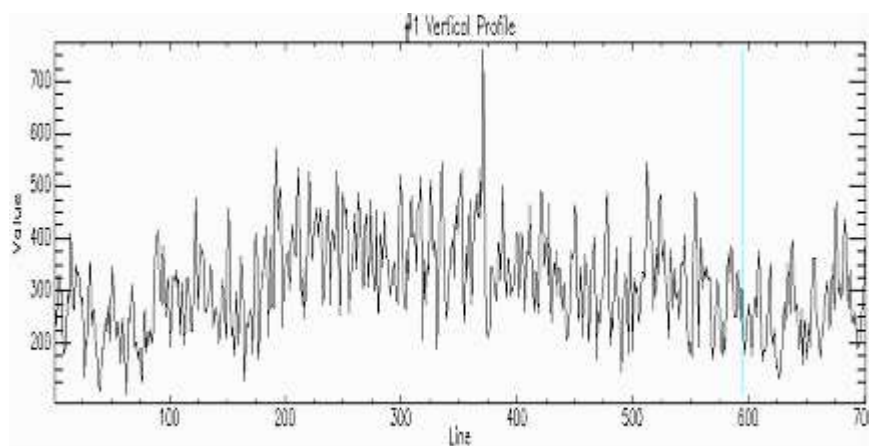
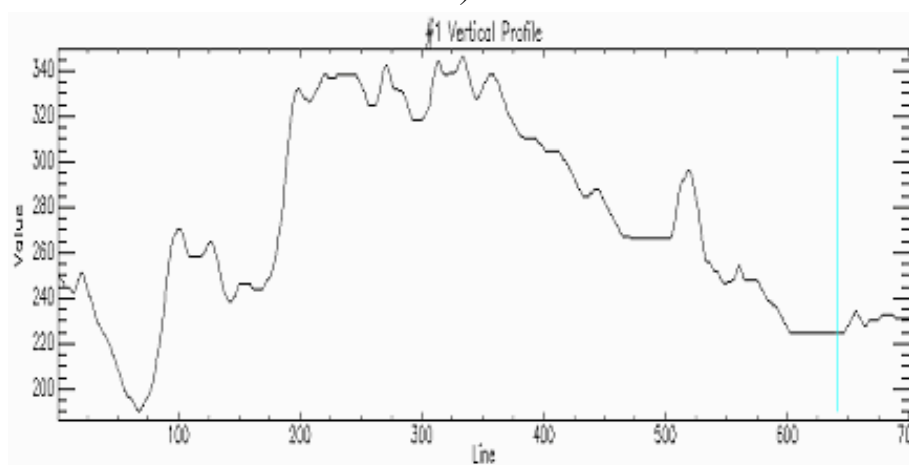


Рис. 2. Вырезанный участок из космического снимка за 16.02.2006 г. (а) и сглаженное изображение этого участка (б).

На рис.3 приведены графики распределения отраженного радиосигнала по горизонтали, проведенной через центр участка и обработанного изображения.



a)



б)

Рис. 3. Распределение отраженного радиосигнала вдоль горизонтали середины участка снимка (а) и обработанного изображения (б).

Данные ИСЗ «RADARSAT-1» о ледовой обстановке на северной части Каспийского моря в АО «КАЗГЕОКОСМОС» оперативно обрабатываются, интерпретируются, и подготавливается три вида выходной продукции:

1. Радиолокационное изображение после проведения радиометрической коррекции и географической привязки. Ввиду того, что угловая зависимость яркости радиолокационного изображения по строке компенсирована с помощью бортового устройства автоматической регулировки усиления, радиометрическая коррекция сводилась к яркостной коррекции изображения (линейному растяжению всех яркостей от ми-

нимального до максимального значения на всю шкалу яркостного диапазона). Географическая привязка осуществлялась в два этапа – грубая по баллистическим данным и уточненная по опорным точкам на снимке. Географически зарегистрированное изображение трансформировалось в проекцию карты исследуемого района, на которую накладывались контуры береговой линии.

2. Цифровой монтаж карт ледовой обстановки, созданных на основе радиолокационной и радиометрической информации по всей территории наблюдения. Перед началом монтажа на всех исходных радиолокационных и радиометрических изображениях производилось смещение диапазонов яркости, таким образом, чтобы точки перегиба гистограмм соответствовали одному и тому же значению яркости. На радиометрическом изображении кроме этого предварительно сглаживались провалы из-за дефекта бортового устройства. Яркостная коррекция на всех исходных изображениях серии проводилась относительно минимального и максимального значения самой широкой гистограммы серии.
3. Тематические карты ледовой обстановки, полученные в результате совместной обработки радиолокационных и пассивных микроволновых изображений. Радиолокационное и радиометрическое изображения после проведения яркостных коррекций и трансформации проекцию карты становились приведенными к одному разрешению на местности и покрывающими одну и ту же территорию. При выборе тестовых участков целесообразно пользоваться таблицей классификации льдов, разработанной Всемирной метеорологической организацией (ВМО).

Дальнейшее повышение эффективности использования радиолокационной информации связано с комплексированием этих данных с другими видами информации российских и зарубежных космических систем.

На радиолокационных космических снимках ИСЗ «RADARSAT-1» северной части Каспийского моря за 16.02.2006 г. и за 17.02.2006 г. наблюдаются как объекты, присутствующие на обеих снимках – старые трещины и группы сплоченности льда, так и изменившиеся объекты – образовавшиеся трещины, покрывшиеся льдом трещины. На основе анализа двух РЛ снимков была определена скорость движения ледяных масс. Анализ трещин показал, что массы льда передвигаются со скоростью 4 км/сут.

На основе космического снимка MODIS от 14.02.2005 г. (рис. 4) была построена электронная карта ледовых полей на Каспийском море (рис. 5).

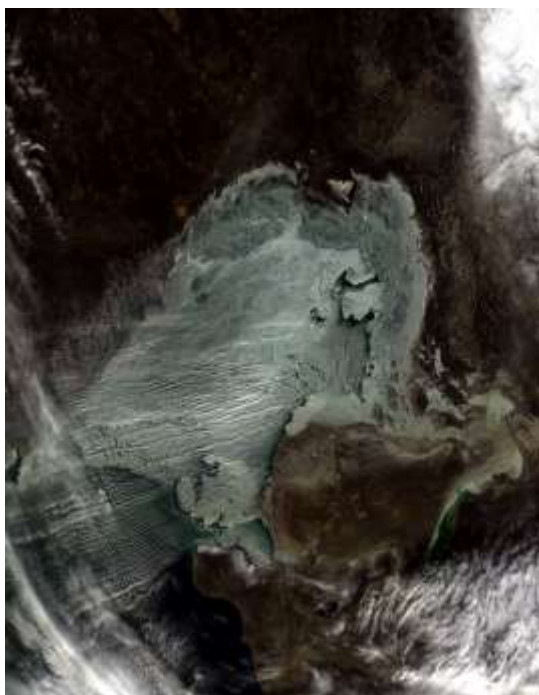
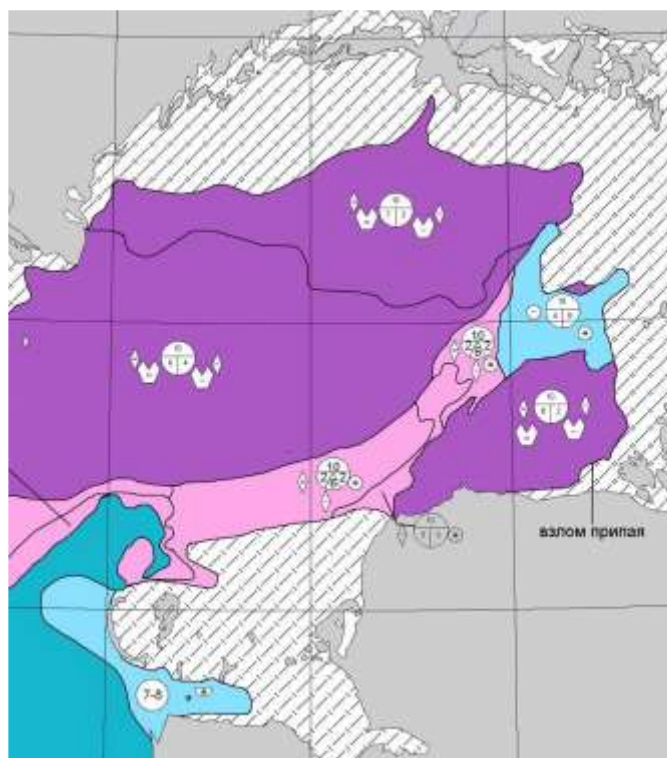


Рис. 4. Космический снимок MODIS от 14.02.2005 г.

Тематические обозначения и классификация ледовых полей являются общепринятыми стандартами в картографии.

Результаты работ, проводившихся в АО «КАЗГЕОКОСМОС» по оценке ледовой обстановки на акватории Каспийского моря на основе обработки спутниковых радиолокационных данных:

1. Создание ежедневных карт ледовой обстановки на шельфе Каспия на основе спутниковых РЛ данных. Карты включают в себя данные по сплоченности льда, толщине, торосистости, а также данные о динамике за прошедшие сутки.
2. Информационное обеспечение судов радиолокационной информацией и результатами ее обработки для обеспечения судоходства в северной части Каспийского моря.
3. Данные о структуре и динамике образования и схода морского льда в бассейне Каспийского моря. Создано программно-математическое обеспечение первичной и тематической обработки радиолокационной информации, отвечающее высоким требованиям.



Условные обозначения

Возрастные характеристики (толщина) дрейфующего льда в см	Возрастные характеристики (толщина) гряды в см	Формы плавающего льда	Обозначение характеристик льда
- чистая вода	- молодой лед (10-30)	- небольшие виды льдов	- сплоченность льда в баллах
- белый лед (до 10)	- тонкий одноклетный белый лед (30-70)	- блинный лед (0,3-3 м)	- возрастной состав дрейфующих льдов 10 - общая сплоченность 5 - количество более старого 4 - количество более молодого
- серый лед (10-15)	- одноклетный лед средней толщины (70-120)	- мелкобитый лед (2-20 м)	
- серо-белый лед (15-30)	- толстый одноклетный лед (>120)	- крупнобитый лед (20-100 м)	
- тонкий одноклетный (белый) лед (30-70)		- обломки ледяных полей (100-500 м)	
- одноклетный лед средней толщины (70-120)		- большие поля (1,5-2 км)	- закреплённость льда (от 1 до 3 баллов)
- толстый одноклетный лед (>120)			

Рис. 5. Электронная карта ледовых полей на Каспийском море.

Накопленный опыт по обработке и интерпретации спутниковых радиолокационных данных при изучении ледовой обстановки распространен на другие области исследований, такие как изучение состояния суши на основе использования спутниковых данных дистанционного зондирования высокого разрешения и др.

Совместная обработка, анализ и интерпретация спутниковых, картографических и наземных данных на базе современных геоинформационных

технологий может существенно повысить возможности решения широкого круга прикладных задач, таких как мониторинг чрезвычайных ситуаций на море, всепогодный мониторинг ледовой обстановки, обеспечение безопасного мореплавания и рыболовства на акватории Каспийского моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарицын П.И. Особенности процессов торошения ледяного покрова северной части Каспийского моря // Водные ресурсы. – 1984. – № 6. – С. 115-123.
2. Бухарицын П.И. Расчет и прогноз толщины наслоенного льда в судоходных районах северо-западной части Каспийского моря // Метеорология и гидрология. – 1986. – №4. – С. 87-93
3. Веселова Л.Е. Ледяной покров Каспийского моря, условия его образования и развития // Труды ГОИН.– 1956. – Вып. 024. – С. 56-127.
4. Радиолокация поверхности Земли из космоса / Под ред. Л.М. Митника и С.В. Викторова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 200 с.
5. Шиварева С.П., Васенина Е.И., Соколова Л.М. О ледовом покрове Каспийского моря // Гидрометеорология и экология. –2003. – №2. – С. 62-73.

АО “КАЗГЕОКОСМОС”, г. Алматы

ҒАРЫШТЫҚ РАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ МӘЛІМЕТТЕРІ БОЙЫНША КАСПИЙ ТЕҢІЗІНДЕГІ МҰЗ ҚАБАТЫН БАҚЫЛАУ

Техн. ғылымд. докторы	А.Ф. Мухамедгалиев
Геогр. ғылымд. канд.	А.Х. Ахмеджанов
Техн. ғылымд. канд.	Б.Э. Бекмухамедов
	Т.К. Караданов
	А.А. Мухамедгалиев

Осы жұмыста ғарыштық радиолокациялық зондылау мәліметтерін Каспий теңізіндегі мұз қабатын бақылау мүмкіндігі көрсетілген.