

## АННОТАЦИЯ

к диссертационной работе на соискание ученой степени доктора философии  
(PhD) 6D071100 – Геодезия

Камза Анжелика Таласовна

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ДВИЖЕНИЯ ЛЬДОВ В АКВАТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Данное диссертационное исследование посвящено актуальной проблеме мониторинга движения льдов в акватории Каспийского моря с применением передовых методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Учитывая растущий интерес к разведке и добыче углеводородов в данном регионе, особенно на шельфе Северного Каспия, нефтяные компании сталкиваются с многочисленными техническими и экологическими вызовами. Эти вызовы обусловлены уникальными природными особенностями региона, которые существенно влияют на планирование и проведение буровых работ, а также на проектирование и эксплуатацию морских сооружений.

Ключевым фактором, влияющим на эксплуатацию морских объектов, являются значительные сезонные колебания температуры воздуха: летом она может достигать 40°C, а зимой опускаться до -30°C. Такие экстремальные условия требуют создания точных и актуальных карт ледовой обстановки для обеспечения безопасности и эффективности морских операций. Ледовая нагрузка представляет собой серьезную угрозу для морских сооружений и трубопроводов, так как лед имеет свойство перемещаться, что создает риски нагромождения перед сооружением, заезда на сооружение и сдвига сооружения с бермы.

#### **Цель и задачи исследования**

Целью данной работы является разработка технологии и методики мониторинга движения льдов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. В рамках достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- Анализ существующих методов и данных мониторинга движения морского льда;
- Совершенствование технологии картирования береговой линии для определения площади ледовитости с применением модели геопространственного анализа;
- Оптимизация методики управляемой классификации для обнаружения ледовых массивов по данным ДЗЗ;
- Разработка модели геопространственного анализа для прогнозирования движения льдов по материалам дистанционного зондирования Земли.

## **Методы исследования**

Для выполнения поставленных задач использовались методы дистанционного зондирования Земли, включая анализ данных с различных спутниковых платформ, таких как ENVISAT, Aqua Modis и Sentinel 1A. В работе также применялись методы геопространственного анализа, сегментации изображений и управляемой классификации. Дополнительно были разработаны математические модели, учитывающие динамику льда под воздействием климатических и метеорологических факторов.

## **Результаты**

В ходе исследования было выявлено, что использование комплексного подхода, включающего данные с различных спутниковых платформ, позволяет преодолеть ограничения, связанные с неполнотой информации от одного источника. Разработанная методика интеграции разновременных спутниковых данных обеспечивает высокую точность реконструкции ледовых условий.

Было разработано и апробировано новое технологическое решение для картирования береговой линии и классификации ледовых образований, что стало возможным благодаря использованию как исторических, так и актуальных данных. Оптимизация параметров цифровой модели рельефа морского дна позволила значительно повысить точность визуализации и анализа изменений топографии под воздействием ледового покрова.

Расширение спектра данных за счет дополнительного использования информации с платформ Sentinel-3, MODIS, ENVISAT и системы SAR позволило увеличить частоту и разнообразие наблюдений. Такой подход стал ключевым фактором для повышения точности прогнозов перемещения льдов, обеспечив не только количественное, но и качественное улучшение мониторинговых процедур.

Тем не менее, анализ показал, что существующие модели движения льдов еще не достигли уровня полной автоматизации и требуют вмешательства специалистов для корректировки ошибок. В связи с этим в диссертации обоснована необходимость дальнейшего развития алгоритмов искусственного интеллекта и машинного обучения, а также усиления процедур верификации данных для минимизации ручного контроля и увеличения автономности систем.

## **Научная новизна**

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Усовершенствована методика контролируемой классификации для обнаружения ледовых массивов по данным ДЗЗ, базирующаяся на методе сегментации, что позволило повысить точность геометрии определяемых объектов.

2. Разработана технология мониторинга движения льдов на основе анализа пространственно-временных изменений объектов по данным дистанционного зондирования Земли, что позволило определить участки смещений льда.

3. Модель геопространственного анализа исследования морского льда для прогнозирования движения льдов по материалам дистанционного зондирования Земли.

### **На защиту выносятся следующие научные положения:**

1. Картографирование ледовых массивов и определение их точных границ обеспечивается использованием мультиспектральных и гиперспектральных данных, сегментирование изображения выполняется на основе различий в отражательной способности различных типов льда и воды, а также, применение диэлектрических свойств и шероховатости поверхности льда и воды основанных на радиолокационных данных.

2. Выявление участков смещения льда и отслеживание динамики его движения при помощи обученной модели для автоматического определения интенсивности пикселей изображения в разные моменты времени, а также вектора скорости перемещения и компоненты скорости по осям  $x$  и  $y$ .

3. Прогнозирование динамики и направления движения льда осуществляется через интерполяцию методом Кригинга по интегрированным и разновременным данным, анализ временных рядов и генерацию карт с последующим динамическим моделированием ледовых массивов.

### **Практическое значение**

Практическое значение работы заключается в:

- Усовершенствовании технологии картирования береговой линии с применением модели геопространственного анализа, что позволило определить площадь ледовитости исследуемой территории.

- Разработке технологической схемы мониторинга движения льдов по материалам дистанционного зондирования Земли.

- Создании практических рекомендаций по использованию методов управляемой классификации для мониторинга ледовой обстановки, которые могут быть применены службами ЧС, навигационными и нефтедобывающими компаниями на территории Северо-Восточной части Каспийского моря.

- Исследовании влияния ледовой обстановки на изменение топографии морского дна, обосновании выбора метода интерполяции глубин и размера ячеек для построения цифровой модели рельефа морского дна.

- Создании библиотеки для классификации видов льда.

### **Обоснованность и достоверность**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются большим количеством первичных данных за период 2000-2022 гг., а также хорошей сходимостью результатов прогнозирования с реальными данными. Личный вклад автора заключается в изучении и анализе отечественного и международного опыта организации мониторинга движений

морского льда, совершенствовании технологии картирования береговой линии для определения площади ледовитости с применением модели геопространственного анализа и методики управляемой классификации для обнаружения ледовых массивов по данным дистанционного зондирования Земли, а также в исследовании математических моделей прогнозирования движения льдов.

### **Публикации и апробация**

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ, включая:

- Одну статью в рейтинговом журнале *Geodesy and Geodynamics* (база Scopus Q2).

- Три статьи в изданиях, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (МОН РК).

- Четыре статьи в сборниках международных конференций, форумов и конгрессов.

Методика классификации была применена в ТОО «Институт Ионосферы», а также использована библиотека типов льда для изучения ледовой обстановки Каспийского моря по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Результаты исследований внедрены в учебный процесс, что подтверждается соответствующими актами.

### **Выводы**

Мониторинг движения льдов целесообразно выполнять методами ДЗЗ, что позволяет охватить большую площадь исследуемого объекта. В связи с отсутствием снимков, получаемых с одного аппарата, необходимо использовать данные со спутников ENVISAT, Aqua Modis и Sentinel 1A совместно. Для эффективного мониторинга была разработана методика и технология, основанная на разновременных данных. Идентификация льдин требует дополнительной подготовки и проверки с помощью других спутниковых данных, таких как Sentinel-3, MODIS, Landsat и различных платформ SAR.

На основе проведённых исследований и разработок можно сделать следующие выводы:

1. Технологическое усовершенствование картирования береговой линии:

- Внедрение модели геопространственного анализа значительно улучшило процесс картирования береговой линии, что позволило точно определить площадь ледовитости на исследуемой территории. Это способствует более детальному и точному мониторингу изменений в ледовой обстановке.

2. Мониторинг движения льдов:

- Разработанная технологическая схема мониторинга движения льдов на основе данных дистанционного зондирования Земли позволяет эффективно отслеживать динамику ледовых масс. Это важно для предупреждения и управления рисками, связанными с ледовыми условиями.

### 3. Практические рекомендации по управляемой классификации:

- Создание рекомендаций по использованию методов управляемой классификации для мониторинга ледовой обстановки предоставляет ценную методологическую базу для служб чрезвычайных ситуаций, навигационных и нефтедобывающих компаний. Эти методы особенно полезны для работы в условиях Северо-Восточной части Каспийского моря, где ледовая обстановка может оказывать значительное влияние на безопасность и эффективность операций.

### 4. Влияние ледовой обстановки на морскую топографию:

- Исследование влияния ледовых условий на изменение топографии морского дна выявило необходимость тщательного выбора методов интерполяции глубин и размеров ячеек для построения цифровых моделей рельефа. Правильный выбор этих параметров обеспечивает более точное представление морского дна, что важно для навигации и морских исследований.

### 5. Создание библиотеки для классификации льда:

- Разработка специализированной библиотеки для классификации различных видов льда способствует улучшению точности анализа и интерпретации данных о ледовых условиях. Это имеет большое значение для различных приложений, включая научные исследования, промышленность и безопасность на море.

В совокупности, данные выводы подчеркивают важность и эффективность внедрения современных геопространственных технологий и методов анализа для мониторинга и управления ледовыми условиями. Эти разработки не только улучшают точность и эффективность существующих методов, но и предоставляют новые инструменты для исследований и практического применения в различных областях.

### **Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста, содержит 15 таблиц, 61 рисунок, список литературы из 133 наименований.