

Ice Operations: международный проект Ice Operations: International Project

Проект «Управление льдами Баренцева моря» (Ice Operations) реализуется с 2018 года в рамках программы приграничного сотрудничества ЕС и России «Коларктик». В работе участвуют исследовательский центр SINTEF Narvik (Норвегия), Технологический университет Лулео (Швеция), Финский метеорологический институт, компания Storvik & Co (Финляндия), Северный (Арктический) федеральный университет (Россия) и ассоциация поставщиков нефтегазовой промышленности «Созвездие».

Ice Operations, a project funded by the EU-Russia Cross Border Cooperation Programme KOLARCTIC, has been in progress since 2018. Its team consists of SINTEF Narvik (Norway), Luleå University of Technology (Sweden), Finnish Meteorological Institute, Storvik & Co (Finland), M. V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University (Russia), and Oil and Gas Suppliers Association Sozvezdye.

Сбор данных

Проект Ice Operations ставит своей целью содействие промышленному освоению арктических территорий, способствует обеспечению производственной и экологической безопасности при разработке месторождений, развитию судоходной доступности за счет наработки знаний о ледовых условиях и совершенствования их прогнозных моделей. Работы в рамках проекта ведутся по четырем основным направлениям: накопление данных о ледовом режиме Баренцева моря, в том числе за счет использования способов дистанционного зондирования Земли; полевые экспедиции и геофизические исследования; лабораторный анализ полевых данных; моделирование механики льда и морских операций.

В ходе проекта были выполнены работы по таким темам, как анализ спутниковых снимков высокого разрешения и применение этих данных для определения характеристик льдов; анализ временных рядов для описания рисков судоходства во льдах; выпущены отчеты о ледовых условиях Баренцева и Печорского морей. С использованием данных, собранных в рамках программы Европейского союза по наблюдению Земли «Коперник», подготовлен отчет «Акватория Баренцева моря. Навигационные сезоны 2015–2020». В нем содержатся данные об особенностях льда, его составе, протяженности и толщине, а также сведения о динамике температуры воздуха.

Разработана методика автоматизированной интерферометрической обработки данных радиолокационной спутниковой съемки для определения параметров торосов, представляющих значительную опасность для судов и сооружений в северных морях. Сведения, полученные в ходе радиолокационной спутниковой съемки, дополняют результаты наземных наблюдений на обширной территории арктического ледяного покрова.

В САФУ разработан многокритериальный подход к кластеризации для оценки перспектив разработки нефтегазовых месторождений Печорского моря и российского континентального шельфа. Учеными Финского метеорологического института на основе данных спутника CryoSat-2 создана методология, основанная на алгоритме «случайного леса», которая используется для создания карт с оценками рисков в масштабах всей Арктики. Для верификации алгоритмов временные ряды с оценками рисков также рассчитаны на основе ледовых карт в районах Баренцева и Карского морей. Также специалистами Финского метеорологического института разработана методология извлечения информации о торосах с использованием данных CryoSat-2.

В рамках проекта реализовано применение сверточных нейронных сетей для оценки сплошности морского льда. Испытания выполнены с использованием данных спутникового режима Baltic Sea Sentinel-1 EW dual-pol (HH/HV) в зимнем сезоне 2018–2019 годов.



*Сведения, полученные в ходе радиолокационной спутниковой съемки, дополняют результаты наземных наблюдений на обширной территории арктического ледяного покрова
The data obtained during the radar satellite surveys complements the ground-based observations on the vast area of the Arctic ice sheet*

Полевые экспедиции проекта начались в июле 2019 года в рамках рейса «Арктический плавучий университет» на научно-исследовательском судне «Профессор Молчанов». Первая кампания «Навигация в ледовых испытаниях» на судне Aganda Финского метеорологического института была проведена в марте 2020 года. Калибровочные данные были получены на основе замеров ровного льда. Образцы колотого льда собирались с помощью крана, хранились в резервуаре и транспортировались в Технологический университет Лулео (лабораторные помещения Concrete и ColdTech) для дальнейшего изучения. Дополнительно проводились измерения толщины льда и картирование ледовой поверхности с помощью электромагнитного радара, установленного на судне.

Вторая экспедиционная кампания «Навигация в ледовых испытаниях» на судне Aganda состоялась в январе 2021 года в Ботническом море. Были получены ценные данные для планирования следующей зимней ледовой экспедиции. 21 марта в Ботническом заливе в гавани Лулео был проведен второй ледовый эксперимент Big Share Test.

Экспедиция «Арктический плавучий университет» с 10 июня по 1 июля 2021 года позволила дополнить проект фактическими данными по маршруту следования экспедиционного судна «Михаил Сомов» (Архангельск – Новая Земля – Земля Франца-Иосифа – Архангельск). В частно-

сти, удалось получить сведения о пространственном распределении льда, что позволило уточнить данные спутниковых наблюдений.

Итоговые модели

Полевые данные, образцы льда и сведения о состоянии Баренцева моря явились основой для проектной деятельности в лабораториях университетов. В лабораториях проведены механические испытания льда на трехосный сдвиг. Использовался большой трехосный испытательный аппарат, разработанный в Технологическом университете Лулео. В ходе испытаний определены наиболее важные для целей проекта параметры

SOZVEZDYE #37

исследования
exploration

6

SOZVEZDYE #37

исследования
exploration

7



льда, такие как пористость и ограничивающая осевая сила. Именно они являются ключевыми характеристиками, определяющими прочность и деформационное поведение твердого льда.

По результатам исследований разработаны механические модели взаимодействия льда и искусственных сооружений. Модели были проверены и откалиброваны при измерениях на действующих гидротехнических сооружениях. Испытания показали, что финальная модель дает очень хорошие предсказательные результаты при расчете ледовых нагрузок. В дальнейшем готовая модель

Сведения, полученные в ходе радиолокационной спутниковой съемки, дополняют результаты наземных наблюдений на обширной территории арктического ледяного покрова

The data obtained during the radar satellite surveys complements the ground-based observations on the vast area of the Arctic ice sheet

SOZVEZDYE #37

исследования
exploration

была использована для моделирования ледовых нагрузок на опорную конструкцию морской ветряной турбины.

В рамках проекта Ice Operations объединены различные подходы к решению проблем, связанных с хозяйственной деятельностью в ледовых условиях. За счет объединения результатов исследований физических свойств льда, информации, полученной со спутников, хронологических данных о состоянии морей, а также современных расчетных методов и алгоритмов удается получить комплексное описание влияния льда на морские конструкции.

Результаты изысканий представлены на площадках с международным участием, таких как «Школа по подготовке специалистов в области инженерного дела в Арктике», форум «Арктические проекты – сегодня и завтра» и другие мероприятия. Кроме того, по итогам проекта разработан международный образовательный курс Ice Operations in the Arctic Seas («Управление льдами в северных морях»), доступный для широкого круга участников.

Data gathering

Ice Operations (IceOps) has as its primary goal to assist the industrial development projects in the Arctic by contributing to their operational and environmental safety, while also collecting data on the sea-ice conditions for forecast modelling and safer marine accessibility. IceOps unfolds within four basic activity areas: accumulation of data on the Barents Sea ice

team at Finnish Meteorological Institute is for hummock ice data retrieval using CryoSat-2 imagery.

One of the project tasks involved the use of convolutional neural networks to assess sea-ice cohesion. Testing was performed using the data from Baltic Sea Sentinel-1 EW dual-pol (HH/HV) satellite mode in the winter season 2018/2019.

The project conducted its first field expedition in July 2019 as part of the Arctic Floating University onboard the research vessel Professor Molchanov, followed in March 2020 by ice trials and monitoring onboard the Finnish Meteorological Institute's RV Aranda. Calibration data was obtained based on flat ice measurements. The ice samples were collected using a crane and were stored in a tank for further transportation to Luleå University of Technology (and analysis by Concrete and ColdTech laboratories). Additionally, ice thickness measurements and ice surface mapping were performed using the onboard electromagnetic radar.

The repeated ice trials and monitoring were conducted onboard the RV Aranda in January 2021 in the Bay of Bothnia. They produced some valuable data for the upcoming expedition, scheduled for next winter. The second stage of Big Shear took place on March 21 in the Gulf of Bothnia within the waters of the port of Luleå.

The recent voyage of the Arctic Floating University (June 10 to July 1, 2021, RV Mikhail Somov) has enriched the project with more actual data collected along the route: Arkhangelsk – Novaya Zemlya – Franz Josef Land – Arkhangelsk. Specifically, the actually observed spatial distribution of ice has helped to clarify the satellite observations data.

Resultant models

The obtained field data, ice samples and the Barents sea-ice studies have served the basis for university-hosted lab research. The mechanical triaxial shear tests, performed using the three-axis testing facility developed by Luleå University of Technology, has enabled to determine such basic ice parameters as porosity and limiting axial force – the key characteristics that determine the strength and deformation behavior of solid ice.

The research has produced a number of ice-structure interaction models. These models underwent testing on the existing hydraulic structures for further calibration. The resultant model has been found highly satisfactory for tentative ice load calculating and was used for ice load simulation purposes on the supporting structure of an offshore wind turbine.

Ice Operations is a project that addresses the challenges of Arctic marine economy using different approaches. Its descriptions of effects the ice may have on the marine structures are comprehensive and rely on studies into physical properties of ice, satellite images, historical data, as well as modern calculation methods and algorithms.

The project has presented its results to audiences of the Arctic Engineering School and Arctic Projects – Today and Tomorrow, among other venues. One more deliverable is the international training course titled Ice Operations in the Arctic, which is going to be available to wider audiences.

Сведения, полученные в ходе радиолокационной спутниковой съемки, дополняют результаты наземных наблюдений на обширной территории арктического ледяного покрова
The data obtained during the radar satellite surveys complements the ground-based observations on the vast area of the Arctic ice sheet

SOZVEZDYE #37

исследования
exploration