A Monitoring System of Ice Conditions to Support Geological Surveying in Arctic Seas

V.A. Volkov (Nansen International Environmental and Remote Sensing Center), E.E. Kazakov* (Nansen International Environmental and Remote Sensing Center), D.M. Demchev (Nansen International Environmental and Remote Sensing Center), N.Y. Zakhvatkina (Nansen International Environmental and Remote Sensing Center), V.S. Khmeleva (Nansen International Environmental and Remote Sensing Center)

SUMMARY

An approach to creation of automated system of operational monitoring of ice conditions for geological surveying in the Arctic seas is considered. The monitoring system includes methods for automated classifications of sea ice types, sea ice drift tracking and iceberg detection. Open radar remote sensing data from space is used as the primary data source. To integrate data and algorithms specialized information system is established.

Система мониторинга ледовых условий применительно к задачам обеспечения геологоразведочных работ в арктических морях

В.А. Волков* (Научный фонд «Нансен-Центр»), Э.Э. Казаков (Научный фонд «Нансен-Центр»), Д.М. Демчев (Научный фонд «Нансен-Центр»), Н.Ю. Захваткина (Научный фонд «Нансен-Центр»), В.С. Хмелева (Научный фонд «Нансен-Центр»)

Введение

При обеспечении геологоразведочных работ и эксплуатации инженерных комплексов, предназначенных для бурения скважин и добычи сырья в арктических морях, существенную опасность представляют явления, связанные со льдом: оледенение, дрейфующий морской лёд и айсберги (Ryerson 2011; Zhang et al. 2015). Они могут быть причиной физических разрушений, вплоть до полного уничтожения платформ и судов, приводя к тяжелым экономическим потерям и экологическим бедствиям, поэтому задачам, связанным с мониторингом ледовой обстановки, уделяется повышенное внимание при менеджменте разведывательных и эксплуатационных мероприятий (Bekker et al. 2011; Edmond et al. 2011).

В связи с этим профильные организации проявляют большой интерес к автоматизированным системам оперативного мониторинга, средствам и методам моделирования и прогнозирования различных аспектов ледовой обстановки (Fuglem et al. 2015; Ji 2017; Metrikin et al. 2015).

Авторами предлагается автоматизированная система, интегрирующая в себе методы оперативного получения данных о типах морского льда и точном характере его дрейфа, а также обнаружения айсбергов на открытой воде, что в совокупности обеспечивает получение полноценной информации о ледовой обстановке. Система мониторинга в качестве основного источника данных использует спутниковую информацию, поставляемую со спутников с радиолокаторами с синтезированной апертурой, таких как Sentinel-1A/1B.

Компоненты системы мониторинга

Основой системы мониторинга являются механизмы автоматизированного получения спутниковых данных, в данном случае представленные программным комплексом загрузки и предварительной обработки данных Sentinel-1A/1B с серверов Европейского космического агентства. Важно, что данные этой программы открыто распространяются и доступны бесплатно, что позволяет снизить экономические издержки при проведении мониторинга, кроме того, для арктического региона периодичность съемки составляет 1-3 дня, что удовлетворяет требованиям оперативности для решаемых задач (Snoeijs et al. 2010).

Второй компонент включает методы и алгоритмы извлечения тематической информации о состоянии ледового покрова из спутниковых радиолокационных данных. В представленной системе функционируют три блока:

- Классификация типов морского льда.
- Восстановление полей дрейфа морского льда.
- Обнаружение айсбергов на открытой воде.

Совместное использование результатов всех трех методов позволяет полноценно описывать состояние ледового покрова в целях оценки потенциальных рисков при проведении различных инженерных изысканий в акватории.

Третий компонент представлен информационной системой, интегрирующей механизмы получения и обработки данных, а также предоставляющей интерфейсы для доступа к ним. Общая схема системы мониторинга представлена на рисунке 1.

Рисунок 1 Общая структура системы оперативного мониторинга ледовой обстановки

Методы извлечения тематической информации о состоянии ледового покрова

Автоматизированная классификация типов льда основана на текстурных характеристиках радиолокационных изображений и применении аппарата машинного обучения. Так, в работах (Zakhvatkina et al. 2013, 2017) показано, что текстурные характеристики для разных типов льда в рамках одной акватории и одного сезона являются статистически различными и устойчивыми во времени и пространстве. Это обстоятельство позволяет подготовить сигнатуры для необходимых морей и в автоматическом режиме осуществлять картографирование типов льда. Пример автоматической классификации приведен на рисунке 2 (слева). Аббревиатурами на рисунке показаны: MYI – многолетний лёд, FYI thick – толстый однолетний лёд, FYI thin – тонкий однолетний лёд, OW – открытая вода, MIZ – прикромочная зона.

Восстановление полей дрейфа морского льда основано на методах компьютерного зрения с использованием нелинейной диффузии при построении многомерного пространства изображений. Основным преимуществом предложенного метода является получение очень плотного и подробного поля дрейфа, что позволяет не только отслеживать направление и скорость движения льда, но и детально рассчитывать деформационные характеристики (Демчев et al. 2016; Demchev et al. 2017). На рисунке 2 (справа) приведен пример расчёта поля дрейфа льда в проливе Фрама по паре радиолокационных снимков Sentinel-1A, полученных с промежутком в 40 часов. Черными стрелками показаны вектора, восстановленные описываемым алгоритмом, красными, для сравнения, вектора, полученные другим распространенным кросскорреляционным алгоритмом.

Арктические айсберги на радиолокационных снимках отображаются яркими точками. Автоматизированный метод для быстрого обнаружения айсбергов и оценки айсберговой опасности, а также для анализа закономерностей пространственно-временной изменчивости распределения айсбергов, основан на применении к радиолокационным снимкам космического аппарата Sentinel-1 алгоритма, предназначенного для поиска ярких областей на изображениях. Тестовые расчеты по идентификации айсбергов выполнены для участка акватории в центральной части Баренцева моря в районе Штокмановского месторождения на основе 51 изображения за временной промежуток с октября 2014 года по сентябрь 2016 года, охватывающий 4 идущих подряд сезона. Впервые на основании регулярных в пространстве и времени данных дистанционного зондирования получена информация о сезонной и межгодовой изменчивости в распределении айсбергов. Сезонная изменчивость характеризуется ростом числа обнаруженных айсбергов в зимний гидрологический сезон и падением в летний. Анализ межгодовой изменчивости показал, что число айсбергов может значительно изменяться от года к году, но при этом тенденция сезонной изменчивости сохраняется.

Рисунок 2 Слева - пример автоматической классификации морского льда по радиолокационному изображению. Справа - пример рассчитанного поля дрейфа льда.

Рисунок 3 Пример пространственного распределения айсбергов в Баренцевом море по данным Sentinel 1 за период с октября 2014 года по сентябрь 2016 года.

Интегрирующая информационная система

Механизмы получения и тематической обработки данных объединены в единую информационную систему, в рамках которой осуществляется управление ими. Также система включает различные интерфейсы для доступа к автоматически собираемой и обрабатываемой информации и к специализированным алгоритмам. Система построена на классической клиент-серверной архитектуре с осуществлением всех взаимодействий через центральный интерфейс по стандартному протоколу HTTP. Компоненты системы показаны на рисунке 4.

Рисунок 4 Компоненты информационной системы

Заключение

Система мониторинга основных аспектов состояния ледового покрова в арктических морях, основанная на автоматизированных методах тематической интерпретации радиолокационных изображений, может стать эффективным средством как обеспечения безопасности в местах производства существующих геологоразведочных работ и инженерных изысканий, так и инструментом для поиска и обоснования наиболее безопасных с точки зрения общего ледового режима акваторий.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках научного проекта №14.618.21.0005 "Суда и волны в полярных регионах" от 18.11.2015, Уникальный идентификатор проекта: RFMEFI61815X0005.

Библиография

- Демчев, Д. М., Волков В. А., Хмелева В. С., Казаков Э. Э. [2016] Восстановление Полей Дрейфа Морского Льда По Последовательным Спутниковым Радиолокационным Изображениям Методом Прослеживания Особых Точек. *Проблемы Арктики и Антарктики*, 3(109), 5-19.
- Bekker, A. T., Sabodash O. A., Kochev A.Yu. [2011] Analysis of Ice Loads on Offshore Structures for Okhotsk Sea Oil&gas Fields. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, vol. 2. 439–448
- Demchev D., Volkov V., Kazakov E., Sandven S., Khmeleva V., Alcantarilla P. [2017] Sea Ice Drift Tracking from Sequential SAR Images Using Accelerated-KAZE Features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Article in press.
- Edmond, C., Liferov P., Metge M. [2011] Ice and Iceberg Management Plans for Shtokman Field. *Society of Petroleum Engineers - Arctic Technology Conference 2011*, vol. 2. 600–608
- Fuglem, M., Stuckey P., King T., Brown M. [2015] Iceberg Drift Forecast Requirements for Offshore Platforms Utilizing Facility Side-Tracking to Avoid Impacts. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, vol. 8.
- Ji, S. [2017] Discrete Element Modeling of Ice Loads on Ship and Offshore Structures. *Springer Proceedings in Physics*, vol. 188. 45-54
- Metrikin, I. Gürtner, A., Bonnemaire, B., Tan, X., Fredriksen, A., Sapelnikov, D. [2015] SIBIS: A Numerical Environment for Simulating Offshore Operations in Discontinuous Ice. *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC*
- Ryerson C. C. [2011] Ice Protection of Offshore Platforms. *Cold Regions Science and Technology* 65(1). 97-110.
- Snoeijs P., Attema E., Davidson M., Duesmann B., Floury N., Levrini G., Rommen B., Rosich B. [2010] Sentinel-1 Radar Mission: Status and Performance. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 25, 32-39
- Zakhvatkina, N., Korosov A., Muckenhuber S., Sandven S., Babiker M. [2017] Operational Algorithm for Ice-Water Classification on Dual-Polarized RADARSAT-2 Images. *Cryosphere* 11(1), 33-46.
- Zakhvatkina N.Yu., Alexandrov V.Yu., Johannessen O. M., Sandven S., Frolov I.Ye. [2013] Classification of Sea Ice Types in ENVISAT Synthetic Aperture Radar Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 51(5), 2587–2600
- Zhang D., Xu N., Yue Q., Liu D. [2015] Sea Ice Problems in Bohai Bay Oil and Gas Exploitation. *Journal of Coastal Research*. 676–680

Bibliography

- D.M. Demchev, V.A. Volkov, V.S. Khmeleva, E.E. Kazakov. [2016] Sea ice drift retrieval from SAR

- using feature tracking. *Problems of the Arctic and Antarctic*, vol. 109, 5-19 (In Russian)
- Bekker, A. T., Sabodash O. A., Kochev A.Yu. [2011] Analysis of Ice Loads on Offshore Structures for Okhotsk Sea Oil&gas Fields. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, vol. 2. 439–448
- Demchev D., Volkov V., Kazakov E., Sandven S., Khmeleva V., Alcantarilla P. [2017] Sea Ice Drift Tracking from Sequential SAR Images Using Accelerated-KAZE Features. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Article in press.
- Edmond, C., Liferov P., Metge M. [2011] Ice and Iceberg Management Plans for Shtokman Field. *Society of Petroleum Engineers - Arctic Technology Conference 2011*, vol. 2. 600–608
- Fuglem, M., Stuckey P., King T., Brown M. [2015] Iceberg Drift Forecast Requirements for Offshore Platforms Utilizing Facility Side-Tracking to Avoid Impacts. *Proceedings of the International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering - OMAE*, vol. 8.
- Ji, S. [2017] Discrete Element Modeling of Ice Loads on Ship and Offshore Structures. *Springer Proceedings in Physics*, vol. 188. 45-54
- Metrikin, I. Gürtner, A., Bonnemaire, B., Tan, X., Fredriksen, A., Sapelnikov, D. [2015] SIBIS: A Numerical Environment for Simulating Offshore Operations in Discontinuous Ice. *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC*
- Ryerson C. C. [2011] Ice Protection of Offshore Platforms. *Cold Regions Science and Technology* 65(1). 97-110.
- Snoeijs P., Attema E., Davidson M., Duesmann B., Floury N., Levrini G., Rommen B., Rosich B. [2010] Sentinel-1 Radar Mission: Status and Performance. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 25, 32-39
- Zakhvatkina, N., Korosov A., Muckenhuber S., Sandven S., Babiker M. [2017] Operational Algorithm for Ice-Water Classification on Dual-Polarized RADARSAT-2 Images. *Cryosphere* 11(1), 33-46.
- Zakhvatkina N.Yu., Alexandrov V.Yu., Johannessen O. M., Sandven S., Frolov I.Ye. [2013] Classification of Sea Ice Types in ENVISAT Synthetic Aperture Radar Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 51(5), 2587–2600
- Zhang D., Xu N., Yue Q., Liu D. [2015] Sea Ice Problems in Bohai Bay Oil and Gas Exploitation. *Journal of Coastal Research*. 676–680