

СПУТНИКОВЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ МОРЕЙ РОССИИ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ

Илюшина П.Г.^{1,2*}, Андронов Д.П.^{2,3**}, Эрендженова А.А.^{2***}, Калениченко В.О.^{2****}

1 – Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
РФ, 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1

2 – ООО «ЦМИ МГУ», РФ, 119992, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 77

3 – ООО «Моринтех», РФ, 143005, г. Москва, ул. Нобеля, д. 7

E-mail: *p.ilyushina@marine-rc.ru, **d.andronov@marine-rc.ru, ***a.erendzenova@marine-rc.ru,
****v.kalenichenko@marine-rc.ru

Ключевые слова: пленочные загрязнения, оперативный мониторинг, радиолокационные изображения

Активное освоение шельфа морей России и развитие сферы морских перевозок обуславливают необходимость экологического мониторинга состояния акваторий для предупреждения развития негативных процессов. К ключевым задачам спутникового мониторинга поверхности моря относится выявление пленочных загрязнений, которые образуются вследствие судовых разливов или аварий на объектах нефтедобывающей инфраструктуры. На основе данных ДЗЗ можно определять форму и размер пятна, время жизни, специфику растекания и дрейфа, предполагаемый источник [1].

До недавнего времени большинство работ российских научных групп было посвящено детектированию пленочных загрязнений на поверхности южных морей России. В последние годы возрос интерес к экологическому мониторингу арктических морей. Однако для арктических регионов большую проблему представляет лед, который в начальных стадиях своего развития может быть очень похож на пленочные загрязнения.

Спутниковый экологический мониторинг акваторий во многом опирается на радиолокационные изображения. Запуск в мае 2023 года российского радиолокатора Кондор-ФКА открывает новые возможности для развития методов обработки радиолокационных изображений для мониторинга пленочных загрязнений на поверхности моря.

Основным источником в последние годы являются данные радиолокаторов С-диапазона Sentinel-1A, -1B, которые расположены в открытом доступе. Однако в работе [2] показано, что для мониторинга пленочных загрязнений целесообразно использовать данные в Х диапазоне. Тем не менее постоянно пополняемые архивы радиолокационных изображений Sentinel-1 являются ценным источником информации о пространственно-временной изменчивости состояния морской поверхности.

Методика обработки заключается в экспертном или автоматизированном анализе радиолокационного изображения, на котором пленка выглядит как самый темный объект на поверхности взволнованной воды. Сравнивая отечественный и зарубежный опыт мониторинга пленочных загрязнений, можно прийти к выводу, что в российской литературе основной приоритет отдается экспертному дешифрированию [3, 4], тогда как в зарубежной – автоматизированным методам идентификации пленочных загрязнений с применением инструментов искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения [5, 6].

Авторами данной статьи накоплен достаточно большой опыт выполнения работ по спутниковому мониторингу пленочных загрязнений, среди которых можно выделить два основных направления: оперативный мониторинг и интегральный анализ загрязнения поверхности за выбранный период времени. Оба подхода определяют свои требования к данным, методам их обработки и периодичности мониторинга.

При оперативном мониторинге основная задача – определение положения загрязнения, его вероятного источника и траектории его дрейфа. В этой задаче важную роль играет скорость получения и обработки спутникового изображения. Для определения вероятного источника загрязнения привлекают информацию о положении судов в акватории в момент съемки и положении объектов инфраструктуры.

При оценке интегрального загрязнения поверхности за выбранный промежуток времени целью является анализ положения пленочных загрязнений антропогенного происхождения относительно судовых трасс и объектов нефтедобывающей инфраструктуры, определение участков акваторий, где загрязнения происходят чаще всего.

Данная работа ориентирована на демонстрацию возможных результатов двух перечисленных видов мониторинга на примере пленочных загрязнений Черного, Каспийского и Карского морей. Отметим, что важно учитывать особенности спутникового мониторинга, которые характерны для арктических морей. Например, если при мониторинге южных акваторий (Черное или Каспийское моря), ледовые условия не оказывают существенного влияния на достоверность дешифрирования, то при мониторинге арктических акваторий учет ледовых условий необходим, поскольку зачастую пленочные загрязнения и начальные виды льда выглядят одинаково на радиолокационных изображениях.

Результаты

На основе архивов данных Sentinel-1 было проанализировано положение пленочных загрязнений антропогенного происхождения в акватории Каспийского моря за период 2015–2022 гг. Анализ показывает, что пленки возникают преимущественно вследствие судовых сбросов и расположены вдоль основных судовых трасс или возле крупных портов (Баку, Махачкала). Следует отметить большую плотность пленочных загрязнений в акватории Каспийского моря около порта Баку и у поселка Нефтяные Камни (Азербайджан).

В качестве примера оперативного мониторинга пленочных загрязнений можно привести разлив в Черном море, который был обнаружен по снимкам Sentinel-1 от 8 августа 2021 г. (рис. 1а). Большая площадь загрязнения (92 км²) и приуроченность его положения к объектам нефтедобывающей инфраструктуры позволяют сделать вывод о том, что это загрязнение – следствие аварии на ближайших нефтеналивных терминалах.

Другим примером результата оперативного мониторинга является пленочное загрязнение, обнаруженное в Карском море 26.09.2022. Оно состоит из 3 сликов: 2 – удлиненной формы и 1 – округлой, общей площадью около 1,05 км² (рис. 1б). Слики имеют высокий контраст относительно фона, с резкими краями. Ветер на момент съемки юго-западный, со скоростью 5–6 м/с. Высокий контраст загрязнений относительно фона позволяет предположить, что загрязнение возникло незадолго до съемки, а вытянутая форма и близость судов позволяют предположить, что загрязнение оставлено проходящим судном.

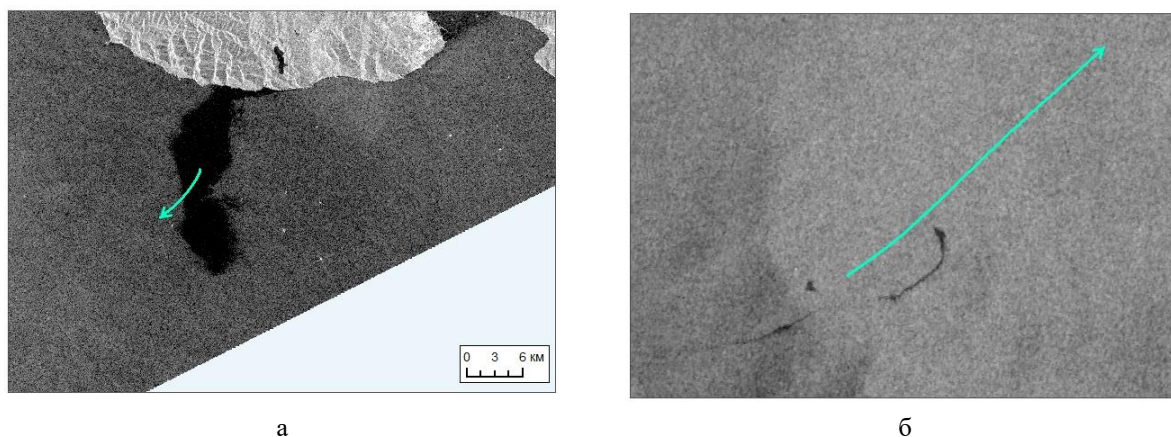


Рис. 1. Примеры пленочных загрязнений:

- а – аварийный разлив в Черном море, обнаруженный на снимке Sentinel-1 от 08.08.2021 и траектория его дрейфа на 24 часа вперед;
б – судовой разлив в Каспийском море, обнаруженный на снимке Sentinel-1 от 26.09.2022 и траектория его дрейфа на 24 часа вперед

Выводы

Таким образом, можно заключить, что два вида спутникового мониторинга пленочных загрязнений требуют разных методических подходов. Наличие открытых, постоянно пополняемых архивов радиолокационных изображений Sentinel-1 позволяет выполнять как оперативный мониторинг (в пределах 6–8 часов после пролета спутника), так и интегральную оценку загрязненности поверхности моря за выбранный промежуток времени (начиная с 2015 года).

Литература

1. *Fingas M.F., Brown C.E.* Review of oil spill remote sensing // *Proceedings of the Forty-fifth AMOP Technical Seminar, Environment and Climate Change. Ottawa, ON: Environment Canada, 2023. P. 435–469.*
2. *Zheng H., Zhang Y., Wang Y. et al.* The polarimetric features of oil spills in full polarimetric synthetic aperture radar images // *Acta Oceanologica Sinica. 2017. Vol. 36, No. 5. P. 105–114. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-1065-4>*
3. *Бармин И.В.* Мониторинг загрязнений моря судами по данным дистанционного зондирования // *Морской сборник. 2013. № 9. С. 41–49.*
4. *Евтушенко Н., Иванов А., Рыбчак Н., Кучейко А.* Спутниковый радиолокационный мониторинг Кольского залива: пространственно-временное распределение пленочных загрязнений и их основные источники // *Экология и промышленность России. 2016. Т. 20, № 7. С. 46–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-7-46-53>*
5. *Ouchi K., Yoshida T.* On the interpretation of synthetic aperture radar images of oceanic phenomena: past and present // *Remote Sensing. 2023. Vol. 15, No. 5. P. 1329. <https://doi.org/10.3390/rs15051329>*
6. *Temitope Yekeen S., Balogun A.-L.* Advances in remote sensing technology, machine learning and deep learning for marine oil spill detection, prediction and vulnerability assessment // *Remote Sensing. 2020. Vol. 12, No. 20. P. 3416. <https://doi.org/10.3390/rs12203416>*