М.А.Нилов, П.П.Бескид, Е.А.Чернецова
Российский гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург
Н.Т.Ничипоренко, А.В.Петров, А.В.Петраков
ЗАО «Морские комплексы и системы», Санкт-Петербург
В.П. Тимофеев
ГУП «Равенство», Санкт-Петербург

УДК 551.502:621.396.967:656.6

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АКВАТОРИИ ПОРТА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА БЕРЕГОВЫМ РАДАРОМ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА ВОЛН

Изложены результаты экспериментов по радиолокационному обнаружению сликов, в том числе нефтяных, при малых углах скольжения. Обоснована экономическая целесообразность использования естественных сликов на этапе разработки методов зондирования структуры системы и алгоритмов обработки данных. Эксперименты показали способность берегового радара эффективно обнаруживать ветровые слики на морской поверхности на расстоянии до 7 км в широком диапазоне метеоусловий. Продемонстрирована принципиальная возможность обнаружения нефтяных сликов береговыми ра-

дарами. Показана способность радара реагировать на малый контраст волнения при обнаружении сликов при слабом ветре. Слики в дальней зоне и при слабом волнении обнаруживаются с использованием накопления сигналов. Ветровые слики могут быть помехой при обнаружении на их фоне нефтяных разливов. При сильном дожде обнаружение сликов затруднено из-за отражений от капель, затенения и разрушения слика каплями. Задачи экологического мониторинга могут быть решены с использованием диспетчерских радаров порта.

The results of experiments on radar slick detection, including oil slicks, at small yaw angles, are stated. The economic feasibility of natural slick use at a stage of the development of sounding methods, system structure and data processing algorithms is substantiated. The experiments have shown ability of the coast-based radar effectively to find out wind slicks on a marine surface on ranges up to 7 kms in a broad band of meteorological conditions. Basic capability of the oil slick detection by coast-based radars is shown. The slick detection at a weak wind shows ability of the radar to react to small roughness contrast. Slicks in a distant zone and at weak roughness find out with accumulation signal use. Wind slicks can be an interference at oil spills detection on their background. At a strong rain the slick detection is hindered because of reflections from drops, shading and slick destruction by drops. The problems of ecological monitoring can be solved by port dispatching radars.

Для практического подтверждения эффективности экологического контроля прибрежных акваторий наземными РЛС кафедрой «Морские информационные технологии» РГГМУ совместно с ЗАО «Морские комплексы и системы» проведены экспериментальные работы с использованием РЛС «Балтика-Б», установленной в г.Стрельна. Антенна размещена на крыше лаборатории, на высоте 27 м над уровнем моря и расстоянии 1,1 км от берега. Кратчайшее расстояние до фарватера порта Санкт-Петербурга 5,5 км, расстояние до порта 7 км. Цель работ – получение радиолокационных изображений любых протяженных неоднородностей на морской поверхности (МП). Неоднородности возникают вследствие относительной неразвитости волнения на мелководьях, отмелях, на защищенных от ветра участках МП вблизи островов с лесом, берегов или других препятствий и проявляются на радиолокационном изображении (РЛИ) в виде темных пятен или потоков. Нефтяные загрязнения вызывают сглаживание волнения (слики) и отображаются на РЛИ аналогично.

Основное внимание при экспериментах уделялось обнаружению сликов естественного происхождения, существующих постоянно или возникающих периодически, что обосновано экономической целесообразностью. Достаточная частота появления таких объектов на зондируемой акватории подтверждается визуальными наблюдениями. Обоснованность их использования в качестве моделей, имитирующих нефтяные загрязнения, представляется очевидной из-за сходства влияния на МП, заключающегося в сглаживании относительно коротких ветровых волн. Ветровой слик может служить моделью нефтяного слика ввиду отсутствия разницы в причине успокоения волн. Разлив нефти на разных стадиях создает разный контраст волнения относительно чистой воды. Мели различной глубины создают различающийся контраст морского волнения относительно глубокой воды. Разные ветровые преграды производят разный контраст волнения относительно открытого моря. Контраст слика любой природы зависит также от скорости ветра. Слик исчезает при безветрии и разрушается штормом.

Вышесказанное является обоснованием правомерности использования слика произвольной природы как модели для исследования характеристик обнаружения нефтяного слика наземной РЛС и оптимизации ее параметров. Объектами, создающими ветровые тени, при экспериментах были «берега» фарватера, образованные отвалами земли при углублении дна фарватера. На этих искусственных островах есть растительность, способная быть преградой ветру. Цели исследований:

- подтверждение возможности обнаружения сликов, удаленных на 5-8 км, наземной РЛС при малых углах скольжения;
- оценка граничных метеоусловий обнаружения сликов (диапазона скоростей ветра, количества и вида осадков и т. п.);
- оптимизация параметров РЛС (длительности импульсов, поляризации и т. д.);

• совершенствование алгоритмов обработки сигналов при приеме.

Варьируемые параметры РЛС следующие: поляризация антенны, длительность импульсов, количество суммируемых РЛИ. Эксперименты проводились в режиме вычитания среднего значения сигнала и без вычитания. Среднее вычислялось по 32 смежным элементам шкалы дальностей. Максимальное количество накапливаемых РЛИ достигало 60.

В архив РЛС записывались РЛИ с каждого обзора (оборота антенны) контролируемой акватории, который архивировался отдельно. Тактовая частота записи 60 МГц, рабочая шкала дальностей 4 мили.

Основные эксплуатационно-технические характеристики РЛС: несущая частота 33,3 ГГц,; импульсная мощность 10 кВт; длительность импульсов 0,045 и 0,15 мкс; ширина горизонтального луча антенны 0,23°, вертикального 3°; коэффициент усиления антенны 18000; частота вращения антенны 10 мин$^{-1}$; уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны (ДНА) 27 дБ; поляризация антенны линейная горизонтальная или круговая правосторонняя.

ДНА имеет форму вертикального веера и в направлении на МП описывается функцией квадрата обратного косеканса угла скольжения. Это позволяет сжать динамический диапазон мощностей сигналов от МП.

Ветровыми тенями, отображающими слики на РЛИ считаем темные пятна, окруженные отражениями от МП с относительно большим волнением. Ветровыми тенями являются все темные участки МП с ближней стороны фарватера. На РЛИ в зоне мощных отражений от моря присутствуют пятна, соответствующие расположению отмелей на карте. Однако для уточнения заключений о наличии сликов на отмелях требуются дополнительные измерения. Ветровые тени следует отличать от теней за препятствиями, где также отсутствуют отражения от МП, но по причине ослабления сигнала при прохождении препятствия.

Эксперимент показал, что слики в областях ветровых теней наблюдаются на расстоянии до 7 км. Устойчиво регистрируются ветровые тени от малых островов, образующих «берега» фарватера. Ветровая тень больших размеров расположена в углу, образованном берегом залива в южной зоне порта и насыпными островами в начале фарватера. Отражения от моря наблюдаются на расстоянии до 8 км. Мощность отражений при круговой поляризации на 7 дБ меньше, чем при линейной горизонтальной. Мощность отражений от МП при длительности импульсов 45 нс на 6 дБ меньше, чем при 150 нс. Суммирование РЛИ пропорционально увеличивает контраст сликов. Ветровые слики могут быть помехой при обнаружении на их фоне нефтяных разливов. Отражения от низкого облака не являются серьезной помехой при обнаружении ветровых сликов. Эти облака перемещаются со скоростью ветра и легко распознаются. При сильном дожде обнаружение сликов затруднено из-за отражений от капель, затенения и разрушения слика каплями.

Таким образом, береговая РЛС способна эффективно обнаруживать слики на МП на расстоянии до 7 км в широком диапазоне метеоусловий. Проведенные работы демонстрируют, во-первых, принципиальную возможность обнаружения нефтяных сликов. Обнаружение сликов при слабом ветре показывает, во-вторых, способность РЛС реагировать на малый контраст волнения МП. Слики в дальней зоне и при слабом волнении обнаруживаются с использованием накопления сигналов. Для работы в ближней зоне, во избежание потерь информации при ограничении сигналов в приемнике, следует использовать ослабление сигналов, обеспечивающее компенсацию зависимости мощности принимаемых сигналов от дальности. Для этого используется антенна со специальной формой диаграммы направленности и временная автоматическая и ручная регулировки усиления приемника. Цель дальнейших экспериментов – обнаружение искусственных разливов, моделирующих нефтяные слики. Подготовлена РЛС сантиметрового диапазона для одновременного зондирования и разработаны алгоритмы комплексирования данных.