

УДК 621.396

А.В.Бархатов, С.П.Калениченко, В.М.Кутузов, А.Г.Попов

*НИИ радиоэлектронных систем прогнозирования чрезвычайных ситуаций
«Прогноз» Санкт-Петербургского электротехнического университета «ЛЭТИ»*

РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА НЕВСКОЙ ГУБЫ

Изложены результаты исследований радиолокационных методов оценки гидрологического состояния морской поверхности на больших площадях, в частности акватории Невской губы. Результаты могут быть использованы для предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

In this paper the author analyzes the radar monitoring of the hydrological conditions of the sea surface on the vast territories, in the Neva Bay in particular. The results of these analyses that could be used to prevent and eliminate emergency situations are described hereinafter.

Недостатком методов и средств контроля водной поверхности, используемых в настоящее время для оценки состояния акватории в Невской губе, является запаздывание поступления выходной системной информации и большие ошибки оценки гидрометеорологической ситуации.

Качество таких наблюдений может быть значительно улучшено при применении радиолокационных методов мгновенной оценки гидрологического состояния Невской губы. Реализация этих методов достигается с помощью многодиапазонной сети датчиков, включающих сантиметровые,

метровые и коротковолновые РЛС, устанавливаемых на берегу. Информация с указанных датчиков может дополнять данные, получаемые от спутниковых, оптических и бортовых радиолокационных устройств, а также контактных гидрометеорологических приборов, установленных в Финском заливе в отдельных точках. Дальность измерения гидрографических параметров сантиметровых РЛС может достигать 10-20 км, метровых и коротковолновых – до нескольких сотен километров.

Дистанционный контроль параметров морского волнения с помощью коротковолновых РЛС поверхностной волны – одно из устойчиво развивающихся направлений радиоокеанографии. Достоинством таких РЛС является большая площадь контролируемой зоны и непрерывность контроля, что позволяет проследить за пространственно-временной динамикой волнения. Решение этой задачи базируется на теории рассеяния радиоволн КВ-диапазона на взволнованной морской поверхности. Теория рассеяния объясняет наблюдаемые в экспериментах характерные особенности доплеровского спектра рассеянных сигналов: брегговские пики первого порядка, а также значительно менее интенсивный доплеровский спектр второго порядка [2].

Соотношение амплитуд этих линий для «приближающейся» и «удаляющейся» систем волн несет информацию о генеральном направлении распространения морских волн и ветра у поверхности моря относительно угла визирования. Как показали экспериментальные исследования, ширина линий Брегга на уровне -10 дБ позволяет установить скорость ветра, воздействующего на морскую поверхность. Поскольку положение брегговских линий по частоте детерминировано, любое их смещение вправо или влево свидетельствует о наличии поверхностных течений.

Теория резонансного взаимодействия второго порядка описывает континуальный доплеровский спектр рассеянного морем сигнала, сосредоточенный вокруг брегговских линий. Этот спектр содержит основную информацию о морском волнении.

Огибающая спектра справа и слева от линий Брегга соответствует с учетом масштабирования поправки скалярному спектру морского волнения, в котором возможны выделение доминирующей длины волны и оценка ее средней высоты. При наличии зыби в скалярном спектре морского волнения можно не только определить длину ее волны, но и направление ее прихода. Для получения усредненной оценки средней высоты морских волн (балльности волнения) рекомендуется использовать соотношение площадей, заключенных под огибающими спектра первого и второго порядков.

Рассеяние радиоволн СВЧ-диапазона взволнованной морской поверхностью описывается двухмасштабной моделью [3] в виде суперпозиции крупных и мелких волн. Роль крупных волн сводится к амплитудной и фазовой модуляции рассеянного на резонансной ряби радиоизлучения. Смещение спектра отраженного сигнала позволяет определить векторы радиальной скорости течения в просматриваемых элементах дальности.

Для получения спектральной информации из сигналов, отраженных от морской поверхности в сантиметровом диапазоне, была выполнена модернизация судовой РЛС «Люция-А». Дело в том, что уже около полувека облик судовой некогерентной радиолокационной станции остается неизменным: генератор высокочастотных импульсов на магнетроне, супергетеродинный приемник с логарифмическим выходным усилителем, амплитудный детектор. Между тем при минимальных переделках РЛС с магнетронным передатчиком может работать в режиме с эквивалентной когерентностью. Суть его заключается в том, что случайная начальная фаза передаваемого сигнала компенсируется в принятом сигнале. В результате фаза принятого сигнала, как в истинно когерентной системе, определяется только параметрами цели и среды распространения.

Принцип построения РЛС с эквивалентной когерентностью следующий. Зондирующий импульс от передатчика через циркулятор, затухание которого в направлении передатчик – приемник не превышает

40 дБ, попадает на вход приемника. Этот импульс переносится на промежуточную частоту в СВЧ-смесителе. Из сигнала на выходе усилителя промежуточной частоты (УПЧ) стробируется зондирующий сигнал, который усиливается и подается в контур когерентного гетеродина. Так как амплитуда зондирующего импульса велика по сравнению с колебаниями в контуре гетеродина, то фаза колебаний в контуре устанавливается равной фазе колебаний зондирующего импульса. После окончания зондирующего импульса колебания в контуре гетеродина продолжают с навязанной начальной фазой. Чтобы улучшить установку фазы колебаний в контуре когерентного гетеродина, перед поступлением зондирующего сигнала собственные колебания в контуре срывают.

Таким образом, в начале каждого периода фаза колебаний гетеродина совпадает с фазой зондирующего импульса на выходе УПЧ. В фазовом детекторе при переносе на видеочастоту из фазы отраженного сигнала вычитается фаза гетеродина, что приводит к компенсации случайной начальной фазы зондирующего сигнала.

На рис.1 изображен усредненный по восьми реализациям спектр сигнала. Но при разработке алгоритмов и при моделировании следует учитывать, что реально получаемые на выходе устройства обработки когерентной РЛС мгновенные спектры сигналов, отраженных от морской поверхности, сильно изрезаны (рис.2).

При направлении облучения морской поверхности против ветра или по ветру спектр отраженного сигнала смещается относительно нулевой частоты. Этот факт может способствовать обнаружению неподвижных предметов, например ограждений фарватеров, при сильном морском волнении, так как спектры сигналов, отраженных от моря и от неподвижных объектов, не совпадают.

Апробирование комплекса производилось в акватории Невской губы на южном берегу о.Котлин. Наблюдения ледовой обстановки и измерения скорости течений осуществлялись двумя радиолокационными постами.

Обработка сигналов выполнялась на основе дискретно-временного преобразования Фурье для интенсивности отраженного сигнала с накоплением в скользящем азимутальном окне. Для подавления боковых лепестков использовалось взвешивание временной последовательности окном Хэмминга [1]. Измеренные по доплеровскому смещению скорости ледовых полей (5-15 см/с) совпадают с данными контактных измерений.

Таким образом, разработаны алгоритмы слежения за перемещениями техногенных образований на поверхности воды с использованием карт поверхностных течений, полученных по данным наблюдений радиолокационного комплекса за морской поверхностью.

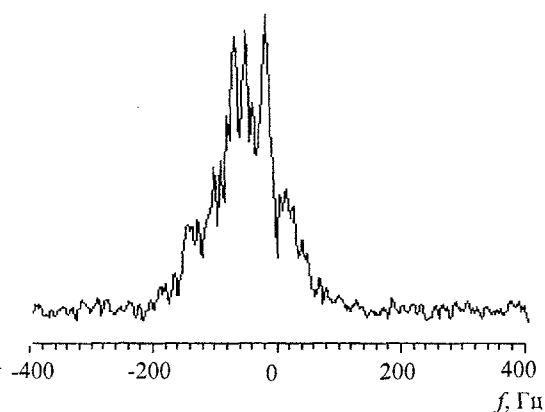


Рис.1. Усредненный спектр сигнала

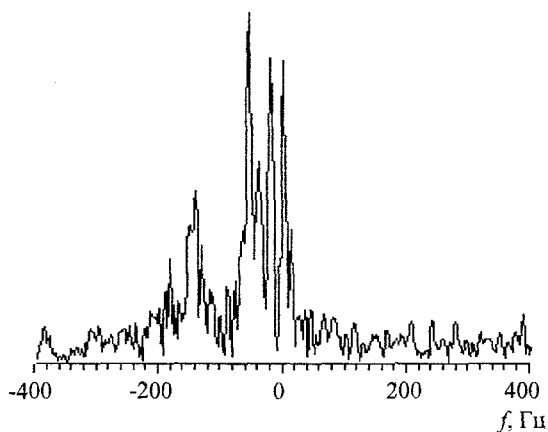


Рис.2. Мгновенный спектр сигнала

Проектируемая система мониторинга позволит повысить точность прогноза распространения разлива вредных веществ, подвижек льда и опасных для Санкт-Петербурга наводнений. Результаты исследований могут быть адаптированы для применения в других отраслях, в частности для оценки оперативной обстановки: обнаружение, измерение параметров и

классификация наземных воздушных и надводных целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.
2. Морская радиолокация / Под ред. В.И.Винокурова. Л.: Судостроение, 1986.
3. Ушаков И.Е. Радиолокационное зондирование морской поверхности / И.Е.Ушаков, И.Ф.Шишкин. М.: РИЦ «Татьянин день», 1997.