

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Рекомендация МСЭ-R М.1874-1
(02/2013)

**Технические и эксплуатационные
характеристики океанографических
радаров, работающих в подполосах
в пределах диапазона частот
от 3 до 50 МГц**

Серия М

**Подвижная спутниковая служба, спутниковая
служба радиоопределения, любительская
спутниковая служба и относящиеся к ним
спутниковые службы**



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Рекомендаций МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра
SNG	Спутниковый сбор новостей
TF	Передача сигналов времени и эталонных частот
V	Словарь и связанные с ним вопросы

Примечание. – Настоящая Рекомендация МСЭ-R утверждена на английском языке в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R М.1874-1

Технические и эксплуатационные характеристики океанографических радаров, работающих в подполосах в пределах диапазона частот от 3 до 50 МГц

(Вопрос МСЭ-R 240/5)

(2009-2010-2013)

Сфера применения

В данной Рекомендации представлены технические и эксплуатационные характеристики океанографических радаров, предназначенные для применения в исследованиях совместимости и совместного использования частот, для планирования использования спектра и развертывания систем в полосе частот от 3 до 50 МГц. В ней представлены соответствующие характеристики систем океанографических измерений с малым радиусом действия, стандартным радиусом действия, большим радиусом действия, очень большим радиусом действия и с высоким разрешением.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что у службы радиоопределения¹ имеется потребность в эксплуатации океанографических радиолокационных систем, которые используют спектр в диапазоне частот 3–50 МГц;
- b) что ВКР-12 распределила ряд полос частот от 3 до 50 МГц для работы данных радиолокационных систем;
- c) что существует глобальная заинтересованность в том, чтобы работающие системы были развернуты на всемирной основе;
- d) что рабочие характеристики, функции и требования к данным обычно определяют диапазон радиочастотного спектра, который может использоваться радиолокационными системами наблюдения над океаном,

признавая,

что для управления использованием спектра и планирования развертывания необходимы типовые технические и эксплуатационные характеристики океанографических радиолокационных систем,

рекомендует,

- 1 что при проведении исследований совместного использования и совместимости с системами в других службах следует учитывать технические и эксплуатационные аспекты океанографических радаров, содержащиеся в Приложении;
- 2 что технические и эксплуатационные аспекты океанографических радаров, содержащиеся в Приложении, следует также учитывать для решения задач планирования.

¹ Службы радиолокации и радионавигации являются подслужбами службы радиоопределения.

Приложение

Технические и эксплуатационные характеристики океанографических радаров, работающих в подполосах в пределах диапазона частот от 3 до 50 МГц

1 Введение

Значительный процент населения планеты живет в радиусе 50 миль от побережья, что увеличивает потребность в точных, достоверных и подробных измерениях параметров окружающей среды на берегу океана.

Подобно тому, как ветер в атмосфере предоставляет информацию о том, где и когда наблюдаются те или иные метеоусловия, океанские течения определяют передвижение океанских процессов. Эти два динамических потока используются для определения того, куда будут двигаться загрязняющие вещества, промышленные или естественные. В настоящее время измерение океанских течений не так доступно, как измерение ветров.

Благодаря этому факту растет заинтересованность в получении возможности точного измерения течений и волн в прибрежных водах. Способности радиолокационных систем, работающих на частотах выше 50 МГц, по предоставлению данных, удовлетворяющих существующим требованиям по дальности, точности и разрешению, сильно ограничены. Всемирное океанографическое сообщество планирует создать сети радаров для наблюдения за поверхностью моря у побережья. Улучшенные измерения береговых течений и состояния моря полезны для сообщества, так как они позволяют лучше понимать проблемы загрязнения береговой линии, управления рыболовством, поисково-спасательных операций, эрозии пляжей, морской навигации, транспорта наносов и цунами, а также связанные с ними ответные резонансные колебания поверхностных волн (см. Дополнение). Береговые радиолокационные измерения поверхности моря обеспечивают поддержку метеорологических наблюдений при помощи сбора данных о состоянии моря и доминантных океанических волнах. Кроме того, технология океанографических радаров находит применение в повышении осведомленности о всемирном океане, позволяя осуществлять дистанционное зондирование надводных судов. Это даст полезные результаты для всемирной безопасности и охраны судов и портов².

Потребность в дополнительных данных для смягчения последствий бедствий, включая цунами, для того чтобы понимать изменение климата и обеспечивать безопасные морские путешествия привела к рассмотрению эксплуатации сетей океанографических радаров на всемирной основе.

На рисунках 1 и 2 показана реализация этих систем в Японии.

² Использование технологии океанского радара динамического применения для изучения динамики прибрежных вод (CODAR) в Соединенных Штатах Американской береговой охраной и органами планирования поисково-спасательных операций; Дэвид Улльман (David Ullman); Джеймс О'Доннелл (James O'Donnell); Кристофер Эдвардс (Christopher Edwards); Тодд Фэйк (Todd Fake); Дэвид Моршаузер (David Morschauser); Центр исследования и развития береговой охраны, Гротон, Коннектикут.

РИСУНОК 1

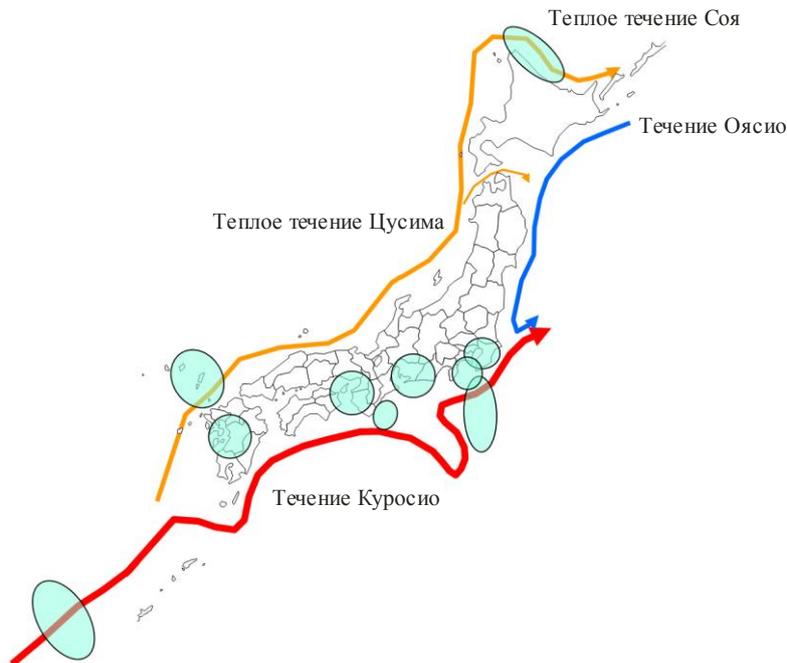
Пример наблюдения поверхностного течения при помощи океанографических радаров в системе наблюдения за Токийским заливом, эксплуатируемой Министерством государственных земель, инфраструктуры, транспорта и туризма, Японии



M.1874-01

РИСУНОК 2

Океанографические радары в Японии
(для каждой фиксированной радиолокационной станции показаны области наблюдения)

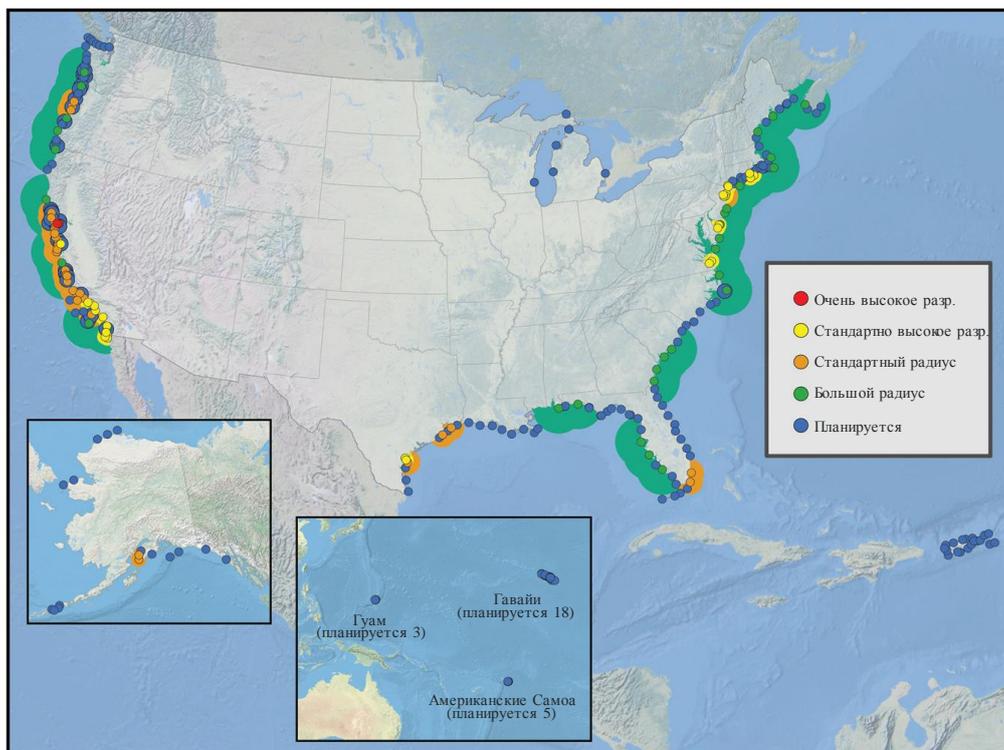


M.1874-02

По состоянию на 2009 год в береговых районах Соединенных Штатов Америки установлено 143 неравномерно распределенных океанографических радара, в это число входят радары, которые не работают в настоящее время на регулярной основе. Почти все системы океанографических радаров в Соединенных Штатах Америки принадлежат исследовательским отделам университетов и эксплуатируются ими. На рисунке 3 показаны существующие и планируемые океанографические радиолокационные станции для Соединенных Штатов Америки, Тихоокеанских островов и Карибского региона.

РИСУНОК 3

Существующие и планируемые океанографические радиолокационные станции для Соединенных Штатов Америки, Тихоокеанских островов и Карибского региона



М.1874-03

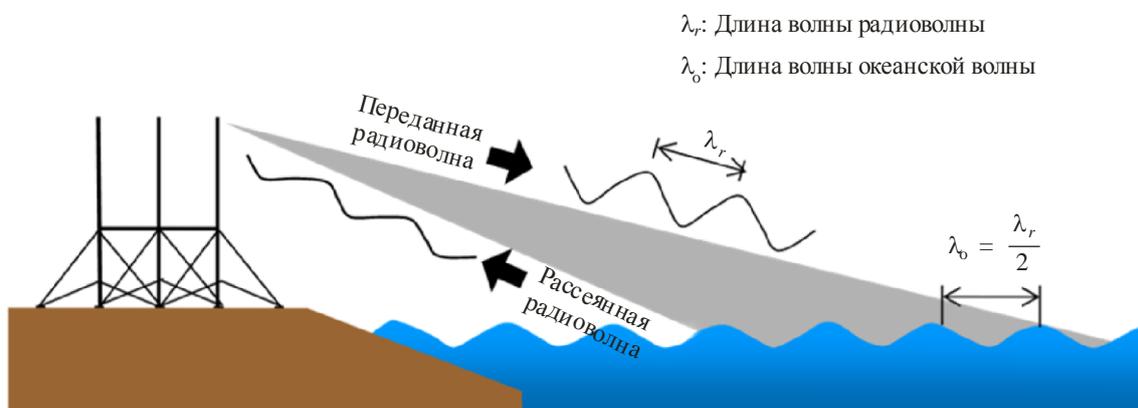
Создание сети океанографических радиолокационных станций наблюдения включено в План развития комплексной системы наблюдения за океаном (IOOS) и является частью всемирной системы наблюдения за океаном (GOOS), которая в свою очередь является важной составляющей всемирной системы систем наблюдения за Землей (GEOSS).

2 Принципы работы

В океанографических радарх, использующих рассеяние Брэгга³, диапазон частот 3–50 МГц (длина волны от 100 до 6 м) очень удобен для измерения волн в океане, возникающих из-за ветра (смотрите рисунок 4). Пространственное разрешение радара ограничено полосой пропускания сигнала, например полосы пропускания 100 и 300 кГц дают разрешение 1,5 км и 500 м соответственно⁴.

РИСУНОК 4

Схематическое изображение распространения радиоволн и рассеяние Брэгга



М.1874-04

Задачами этих систем являются: получение в режиме реального времени постоянной информации о состоянии окружающей среды, например сбор и управление данными о загрязнении, предоставление услуг по смягчению последствий действий, например обнаружение волн цунами, предоставление услуг обеспечения безопасности мореплавания, например наблюдение за состоянием моря и океаническими течениями, осуществляемое океанографическими радарными.

Физические параметры, которые измеряются океанографическими радарными, и соответствующие требования к их рабочим характеристикам влияют на полосы частот, которые должны поддерживать сбор данных. Океанографические радары для наблюдения за океаном используют поверхность океана для измерений океанских течений и состояния моря. Когда интервал между волнами равен половине длины волны частоты излучения океанографического радара, от поверхности океана в направлении радара отражается мощный сигнал. Это явление известно, как рассеяние Брэгга. Диапазон частот 3–50 МГц очень удобен для работы радара океанографических наблюдений, так как волны в океане есть всегда, а интервал между волнами соответствует рабочей частоте радара. Для решения задач смягчения последствий бедствий следует стремиться получить как можно более высокое временное разрешение, а для экологических работ следует стремиться получить как можно более высокое пространственное разрешение. Кроме того, измерение доплеровского сдвига обратных сигналов позволяет операторам измерять другие свойства состояния моря и морских течений.

Двумя основными методами передачи, которые используются в океанографических радарных, являются импульсы непрерывного радиосигнала (CW) и линейные радиоимпульсы с непрерывным радиосигналом, модулированным по частоте (FMCW). В таблице 1 приведен перечень параметров, которые характерны для стандартного океанографического радара.

³ Когда длина передаваемой поверхностной волны равна половине длины поверхностной волны в океане, в направлении радиолокатора будет отражен мощный обратный сигнал.

⁴ Разрешение L , скорость света c ($= 300\,000$ км/с) и полоса пропускания fc связаны соотношением $fc = c/2L$.

ТАБЛИЦА 1

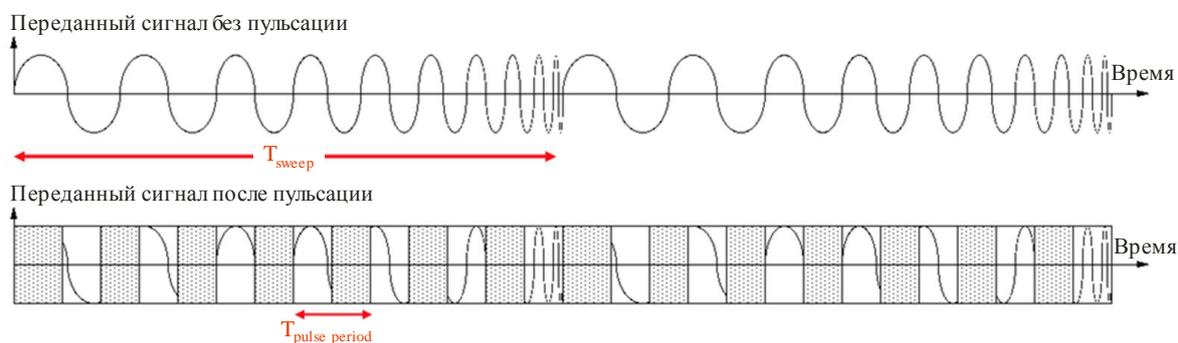
Список параметров сигналов стандартного океанографического радара

Центральная частота (МГц)	Ширина полосы развертки (кГц)	Время развертки (T_{sweep}) (с)	Период импульса (Pulse period) (мкс)	Коэффициент заполнения импульса (%)
4,53	25,6	1	1 946	50
13,46	49,4	0,5	669	50
24,65	101	0,5	486	50

На рисунке 5 показана структура сигнала стандартных океанографических радаров. Вид сигнала в верхней части рисунка соответствует сигналу FMCW. Вид сигнала в нижней части соответствует стробированному сигналу.

РИСУНОК 5

Структуры сигнала стандартного океанографического радара



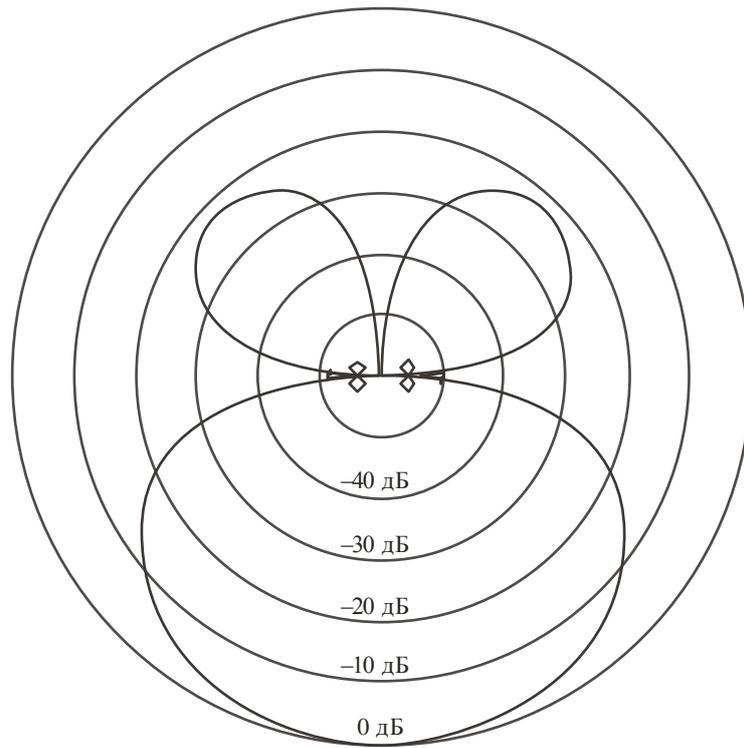
М.1874-05

3 Антенны океанографического радара

В настоящее время в океанографических радиолокационных системах наблюдения за океаном используется множество типов антенн. Некоторые системы для сканирования в азимутальном направлении используют либо систему Яги из 3 элементов, или систему с фазовой решеткой, в которой для передачи применяется несколько комплектов антенны Яги, что ограничивает географическую зону покрытия, на территории которой распространяется сигнал океанографического радара. На рисунках 6, 7 и 8 показано несколько диаграмм направленности антенн океанографического радара.

РИСУНОК 6

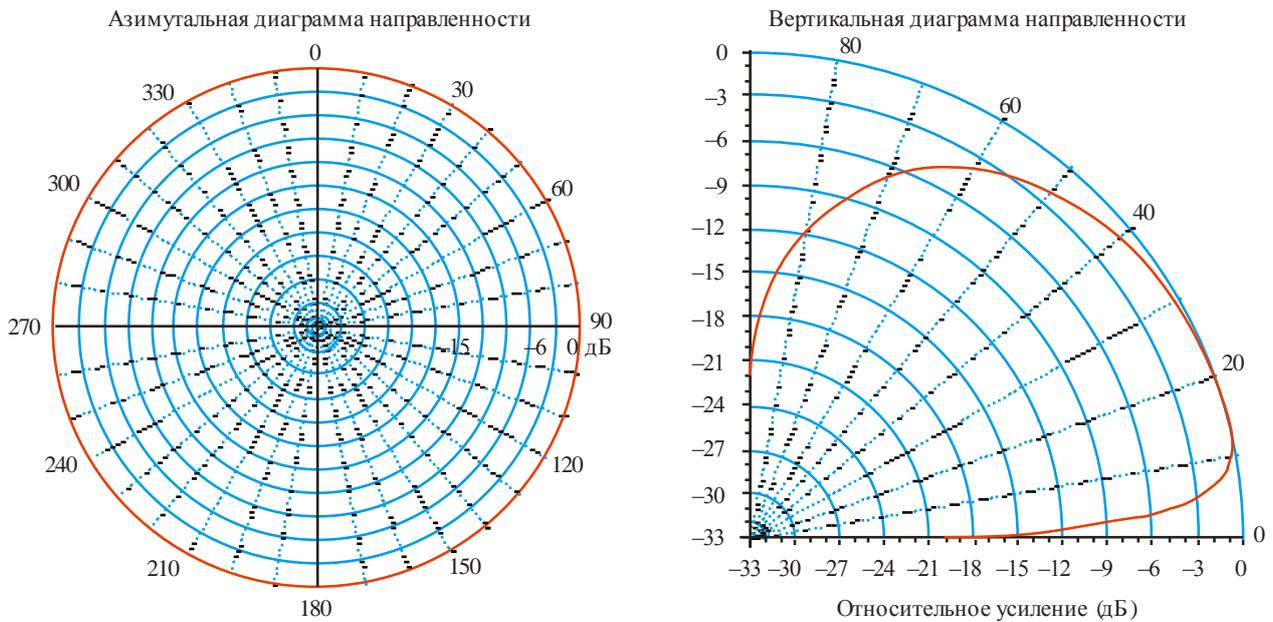
Диаграммы направленности антенн стандартного океанографического радара
(4 вертикальные монопольные решетки)



М.1874-06

РИСУНОК 7

Диаграммы направленности антенн стандартного океанографического радара
(ненаправленная; слева: азимутальная, справа: вертикальная)



М.1874-07

РИСУНОК 8

Диаграммы направленности антенн стандартного океанографического радара
(направленная, "волновой канал" из 3 элементов; слева: азимутальная, справа: вертикальная)



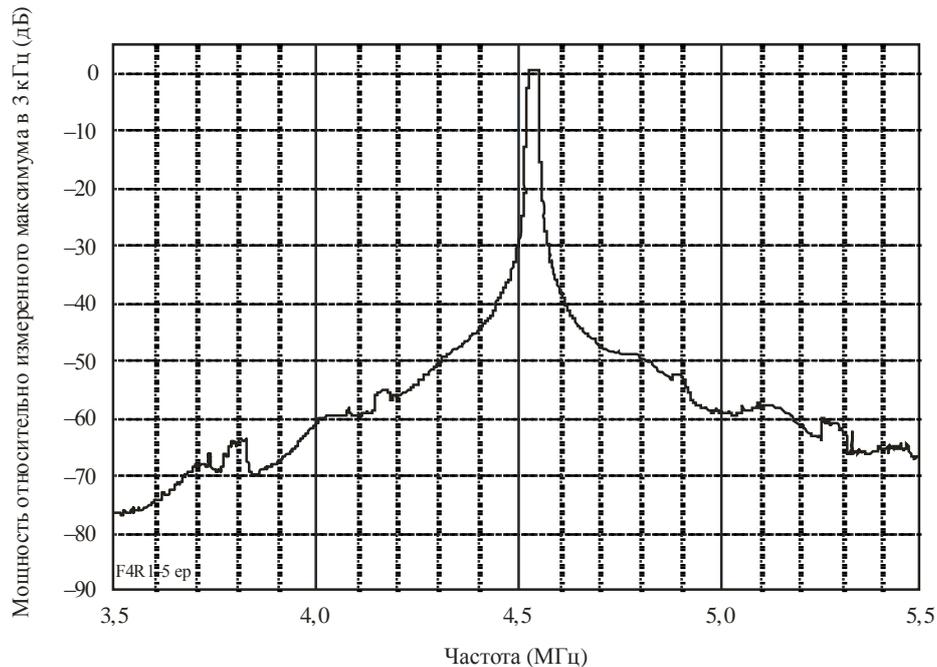
М.1874-08

4 Излучения передатчиков

На рисунках 9 и 10 показаны излучения океанографического радара, работающего на частотах 4,5 МГц и 24 МГц.

РИСУНОК 9

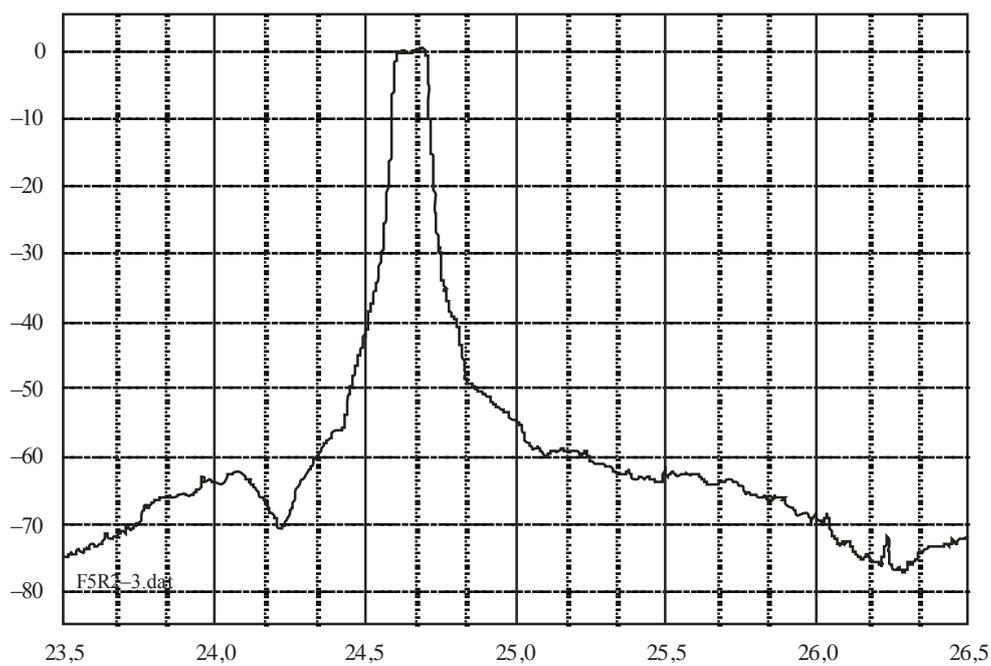
Излучения океанографического радара на частоте 4,5 МГц



М.1874-09

РИСУНОК 10

Излучения океанографического радара на частоте 24 МГц



М.1874-10

5 Характеристики системы

В таблицах 2–4 содержится краткое описание радиочастотных (РЧ) характеристик типовых систем океанографических радаров для наблюдений за океаном в диапазонах частот от 3 до 50 МГц.

ТАБЛИЦА 2

Характеристики типичных океанографических радаров для наблюдения за океаном при помощи прерывистого незатухающего радиосигнала, модулированного по частоте (FMICW)

Характеристики	Ед. изм.	Система 1 5 МГц	Система 2 13 МГц	Система 3 25 МГц	Система 4 42 МГц
Функция		Океанографические измерения с большим радиусом действия	Стандартные океанографические измерения	Океанографические измерения с высоким разрешением	
Максимальное эксплуатационное расстояние (измерения) ⁽¹⁾	км	170–200 (в среднем в течение дня) ⁽²⁾	60–90 (в среднем в течение дня) ⁽²⁾	30–50 (в среднем в течение дня) ⁽²⁾	15–25 (в среднем в течение дня) ⁽²⁾
Расстояние выбираемого пользователем разрешения по дальности	км	3–12 ⁽³⁾	2–3 ⁽³⁾	0,3–2 ⁽³⁾	0,3–1 ⁽³⁾
Стандартная ширина полосы развертки	кГц	25 ⁽³⁾	50 ⁽³⁾	100 ⁽³⁾	125 ⁽³⁾
Полоса частот ⁽⁴⁾	МГц	4–6 ⁽⁴⁾	12–14 ⁽⁴⁾	24–27 ⁽⁴⁾	40–44 ⁽⁴⁾
Стандартная используемая пиковая мощность Максимальные технические характеристики системы – Пиковая мощность на входе антенны	Вт	50 80		50 80(100)	
Длительность импульсов	мкс	1 000–2 000	300–600		30–100
Максимальный коэффициент заполнения импульса	%	50			
Время нарастания/спада импульса	мкс	16/32	16		8/16
Метод настройки передатчика		Цифровой			
Метод настройки приемника		Цифровой			
Выходное устройство		Стробированный ПТ (полевой транзистор) (Работа класса АВ)			
Стабильность передатчика	ppm	0,001			
Стабильность приемника	ppm	0,001			
Тип диаграммы направленности передающей антенны		Ненаправленная (в горизонтальной плоскости)			
Тип передающей антенны		Четырехволновая монополярная с дополнительными горизонтальными отражающими элементами			

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система 1 5 МГц	Система 2 13 МГц	Система 3 25 МГц	Система 4 42 МГц
Поляризация антенны		Вертикальная			
Усиление главного луча антенны	дБи	8			
Ширина луча передающей антенны по углу места	градусы	35			
Ширина луча передающей антенны по углу азимута		Ненаправленная			
Частота горизонтальной развертки передающей антенны		Фиксированная антенна			
Высота передающей антенны	м	10	4	2	1,2
Тип диаграммы направленности антенны приемника		Электрическая и магнитная дипольные антенны			
Тип антенны приемника		Две скрещенные рамки и монополярная в одном блоке			
Поляризация антенны приемника		Вертикальная			
Усиление главного луча антенны приемника	дБи	5			
Ширина луча антенны приемника по углу места	градусы	45			
Ширина луча антенны приемника по углу азимута	градусы	Ширина луча 90–360			
Частота горизонтальной развертки антенны приемника		Фиксированная антенна			
Высота антенны приемника	м	4			
Ширина полосы промежуточной частоты приемника на уровне 3 дБ	Гц	500			
Коэффициент шума приемника	дБ	12 с импульсами			
Минимальный различимый сигнал	дБм	–147 (500 Гц RBW ⁽⁵⁾) (уровень шума определенной антенны)			
Интервал развертки	с	От 0,5 до 1,0 с			
Ширина полосы излучения передатчика					
3 дБ	кГц	26	54	105	128
20 дБ		58	70	150	170

ТАБЛИЦА 2 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система 1 5 МГц	Система 2 13 МГц	Система 3 25 МГц	Система 4 42 МГц
Подавление гармоник		Да			

- (1) Расстояние зависит от многих факторов окружающей среды: внешнего шума, высоты значимой волны, скорости течения, местонахождения радара, например близости к воде, близлежащих препятствий и рабочей частоты.
- (2) Ночью расстояние значительно уменьшается.
- (3) Так как ширина полосы развертки настраивается (более высокая ширина полосы дает данные с большим разрешением), обычно системы эксплуатировались в диапазонах со стандартной шириной полосы развертки, определенной ввиду ограниченности доступной ширины полосы и необходимости сосуществования с другими радиосистемами.
- (4) Определяет полосы частот для оптимальной производительности с научной точки зрения. Для работы не требуется весь диапазон частот.
- (5) RBW означает разрешение по полосе пропускания.

ТАБЛИЦА 3

Характеристики типичных океанографических радаров при помощи незатухающего радиосигнала, модулированного по частоте (FMCW)

Характеристики	Ед. изм.	Система 5 8 МГц	Система 6 12 МГц	Система 7 16 МГц	Система 8 25 МГц	Система 9 42 МГц
Функция		Океанографические измерения с очень большим радиусом действия	Океанографические измерения с большим радиусом действия	Стандартные океанографические измерения	Океанографические измерения с высоким разрешением	Измерения с малым радиусом действия и лучшим разрешением
Максимальное эксплуатационное расстояние (измерения)	км	150–300 (в среднем в течение дня) ⁽¹⁾	100–150 (в среднем в течение дня) ⁽¹⁾	50–100 (в среднем в течение дня) ⁽¹⁾	30–60 (в среднем в течение дня) ⁽¹⁾	10–20 (в среднем в течение дня) ⁽¹⁾
Разрешение по дальности	км	3–12	1–3	1–3 Режим высокого разрешения: 0,5 км	0,5–2 Режим высокого разрешения: 0,25 км	0,15–0,5
Ширина полосы развертки	кГц	50–12,5	150–50	300–50	600–75	300–1 000

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система 5 8 МГц	Система 6 12 МГц	Система 7 16 МГц	Система 8 25 МГц	Система 9 42 МГц
Полоса частот	МГц	6–9	11–14	14–18	24–27	40–44
Средняя мощность на входе антенны (= пиковая мощность)	Вт	30 7 на антенну				
Длительность импульсов		Нет импульсов				
Максимальный коэффициент заполнения импульса		Незатухающий радиосигнал				
Время нарастания/ спада импульса		Незатухающий радиосигнал				
Метод настройки передатчика		Цифровой (DDS)				
Метод настройки приемника		Цифровой (DDS)				
Выходное устройство		Твердотельное, биполярное (Работа класса АВ)				
Стабильность передатчика	ppm	0,1/год				
Стабильность приемника	ppm	0,1/год				
Тип диаграммы направленности передающей антенны		Направленная > 90% мощности в пределах $\pm 60^\circ$ ширины полосы				
Тип передающей антенны		4 вертикальные прямоугольные решетки 0,5 × 0,15 длины волны				
Поляризация антенны		Вертикальная				
Усиление главного луча антенны	дБи	От 5 до 8				
Ширина луча передающей антенны по углу места	градусы	От 25 до 35				
Ширина луча передающей антенны по углу азимута	градусы	120				

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система 5 8 МГц	Система 6 12 МГц	Система 7 16 МГц	Система 8 25 МГц	Система 9 42 МГц
Частота горизонтальной развертки передающей антенны		Фиксированная антенна				
Высота передающей антенны	м	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Тип диаграммы направленности антенны приемника		Направленная, с шириной луча от ± 3 до $\pm 15^\circ$				
Тип антенны приемника		Монопольная решетка (от 4 до 16 монополей)				
Поляризация антенны приемника		Вертикальная				
Усиление главного луча антенны приемника	дБи	От 10 до 18				
Ширина луча антенны приемника по углу места	градусы	35				
Ширина луча антенны приемника по углу азимута	градусы	От 6 до 30 в зависимости от размера решетки				
Частота горизонтальной развертки антенны приемника		Фиксированная антенна				
Высота антенны приемника	м	< 10	< 6	< 4	< 3	< 2
Ширина полосы между частотами приемника на уровне 3 дБ	кГц	Промежуточная частота не используется, ширина полосы частот модулирующих сигналов равна 1,5				
Коэффициент шума приемника	дБ	8				
Минимальный различимый сигнал	дБм	-142 (при 1 500 Гц RBW ⁽²⁾) (уровень шума определенной антенны)				

ТАБЛИЦА 3 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система 5 8 МГц	Система 6 12 МГц	Система 7 16 МГц	Система 8 25 МГц	Система 9 42 МГц
Мгновенная ширина полосы	3 дБ 20 дБ 60 дБ	кГц	0,2			
			0,6			
			30			
Подавление гармоник	дБс	< -60				
Интервал развертки	мс	От 200 до 500	От 130 до 500		От 130 до 250	

(1) Ночью расстояние значительно уменьшается.

(2) RBW означает разрешение по полосе пропускания.

ТАБЛИЦА 4

Характеристики	Ед. изм.	Система 10 9,2 МГц	Система 11 24,5 МГц	Система 12 24,5 МГц	Система 13 41,9 МГц
Функция		Океанографические измерения с большим радиусом действия	Стандартные океанографические измерения		Океанографические измерения с высоким разрешением
Максимальное эксплуатационное расстояние (измерения)	км	200–300	50–70		20–25
Разрешения по дальности	км	6,8	1,5		0,5
Ширина полосы развертки	кГц	22	100		300
Полоса частот	МГц	9,2	24,5		41,9
Пиковая мощность на входе антенны	Вт	1 000	100	200	100
Длительность импульсов	мкс	1 330	488		244–280
Максимальный коэффициент заполнения импульса	%	50			
Время нарастания/спада импульса		Выровнено ⁽¹⁾			
Метод настройки передатчика		Цифровой			

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

Характеристики	Ед. изм.	Система 10 9,2 МГц	Система 11 24,5 МГц	Система 12 24,5 МГц	Система 13 41,9 МГц
Метод настройки приемника		Цифровой			
Выходное устройство		Стробированный ПТ (полевой транзистор) (Работа класса АВ)			
Стабильность передатчика	ppm	0,03/год			
Стабильность приемника	ppm	0,03/год			
Тип диаграммы направленности передающей антенны		Направленная			
Тип передающей антенны		"Волновой канал" из 3 элементов	8 комплексов антенн типа "волновой канал" из 3 элементов	"Волновой канал" из 3 элементов	
Поляризация антенны		Вертикальная			
Усиление главного луча антенны	дБи	6	15	6	
Ширина луча передающей антенны по углу места	градусы	30	25		
Ширина луча передающей антенны по азимуту	градусы	120	15	120	
Частота горизонтальной развертки передающей антенны		Фиксированная антенна	Фиксированная антенна с фазовой решеткой 60 мин. на 12 направлений	Фиксированная антенна	
Высота передающей антенны ⁽²⁾	м	10	2–14		
Тип диаграммы направленности антенны приемника		Направленная			
Тип антенны приемника		16 комплексов антенн типа "волновой канал" из 2 элементов	8 комплексов антенн типа "волновой канал" из 3 элементов		
Поляризация антенны приемника		Вертикальная			
Усиление главного луча антенны приемника	дБи	16	15		
Ширина луча антенны приемника по углу места	градусы	30	25		
Ширина луча антенны приемника по углу азимута	градусы	8–10	15		

ТАБЛИЦА 4 (окончание)

Характеристики	Ед. изм.	Система 10 9,2 МГц	Система 11 24,5 МГц	Система 12 24,5 МГц	Система 13 41,9 МГц
Частота горизонтальной развертки антенны приемника		DBF фиксированной антенны ⁽³⁾	Фиксированная антенна с фазовой решеткой 60 мин. на 12 направлений ⁽³⁾	DBF фиксированной антенны ⁽³⁾	
Высота антенны приемника ⁽²⁾	м	10	2–14		
Ширина полосы промежуточной частоты приемника на уровне 3 дБ	Гц	200			
Коэффициент шума приемника	дБ	17 с импульсами	12 с импульсами	13 с импульсами	
Минимальный различимый сигнал	дБм	-157 (1 Гц RBW ⁽⁴⁾)	-162 (1 Гц RBW ⁽⁴⁾)	-161 (1 Гц RBW ⁽⁴⁾)	
Ширина полосы излучения передатчика	кГц	25	110	320	
Подавление гармоник		Да			
Интервал развертки	с	0,7	0,5	0,25	

(1) Срезам импульса придана форма для управления использованием их спектра. Крутизна определена косвенно при помощи спектра.

(2) Высота точки питания в решетке антенны от уровня земли.

(3) Формирование цифрового луча.

(4) RBW означает разрешение по полосе пропускания.

Дополнение

Исследование конкретной ситуации применения океанографического радара

Обнаружение ответных резонансных колебаний поверхностных волн при цунами

1 Общие сведения

11 марта 2011 года в 14:46 по стандартному японскому времени (JST) у тихоокеанского побережья Японии произошло великое восточно-японское землетрясение магнитудой 9.0, и на побережье обрушилось цунами. Мы хотели бы выразить наше искреннее соболезнование родным и близким погибших, а также поблагодарить мировое сообщество за оказанную нам помощь и сочувствие.

В этой краткой статье описано применение океанографических радаров для обнаружения волн цунами в прибрежной зоне. Особо подчеркнута важность новых распределений частот РЛС для прикладных задач, выполняемых океанографическими радарными, при наличии соответствующих регламентарных положений, допускающих возможное совместное использование частот с существующими службами для обеспечения наиболее эффективного использования спектра и уменьшения помех для существующих служб.

2 Цунами на тихоокеанском побережье Японии

По информации Объединенной группы исследования землетрясения и цунами в Тохоку максимальная высота набега волны в северо-восточной части Японии составляла более 39 м (рисунок 11, <http://www.coastal.jp/ttjt/>). Высота цунами и ширина области затопления достигли исторического максимума, затронутая площадь составила более 500 км².

Около 16:20 11 марта 2011 года (JST), примерно через 1,5 часа после землетрясения, волны цунами достигли склона континентального шельфа к югу от пролива Кии в западной части Японии (рисунок 12). Продолжительные интенсивные колебания волн в проливе вызвали затопление и разрушения. В порту Татибана на западном побережье пролива высота затопления составила около 3,5 м. В порту Кайнан (на рисунке 12 – КА) на восточном побережье пролива максимальная высота волны достигала 2,6 м в течение 4,5 часов после первого прихода цунами, как показано на рисунке 13.

3 Применяемая система

Обнаружение производилось при помощи стандартной океанографической радиолокационной системы 12, описанной в настоящей Рекомендации. Радар оборудован системой направленных антенн (состоящей из 1 передающей и 8 приемных антенн типа "волновой канал" из трех элементов) с цифровым формированием луча. Разрешающая способность по азимуту составляет 7,5 градуса в пределах угла покрытия – ±45 градусов. Система работает по принципу прерывистого незатухающего модулированного радиосигнала (FMICW) с центральной частотой 24,515 МГц и шириной полосы развертки частоты 100 кГц, в результате чего разрешение по дальности составило 1,5 км. Эти характеристики позволяют определить поверхностные течения со специальным распределением высокого пространственно-временного разрешения.

В стандартном режиме работы карта поверхностных радиальных скоростей составляется ежечасно. В специальном режиме работы непрерывно передаваемые и принимаемые сигналы позволяют получить карту скоростей каждые 2-3 минуты. Океанографический радар работал в специальном режиме с 17:00 11 марта до 16:30 19 марта 2011 года (JST).

Для анализа использовались не только данные океанографического радара, но и информация о подъеме волны над уровнем моря, полученная в проливе (КА и КО), а также на склоне континентального шельфа (WA). Данные из КА были получены Управлением геопространственной информации Японии. Данные из КО и WA, полученные Национальной информационной сетью океанских портов и гаваней (NOWPHAS), были представлены Министерством государственных земель, инфраструктуры, транспорта и туризма (MLIT).

4 Результаты наблюдений

Первая волна цунами достигла WA 11 марта примерно в 16:20. Примерно в 17:00 она достигла КО, а в 17:05 – КА, как показано на рисунке 13. Высоту первой волны в КА (168 см) можно в общих чертах объяснить убыванием падающей волны в WA (63 см) на континентальном шельфе, в то время как в КО (66 см) на западной стороне пролива высота была почти такой же, как в WA (63 см), вероятно, из-за сочетания батиметрической рефракции волн и эффектов обмеления.

В WA и КО высота волны постепенно уменьшалась со временем и в 12:00 12 марта составляла менее 15 см. В КА, напротив, хотя высота волны с первой по третью постепенно уменьшалась, начиная с четвертой она быстро увеличивалась из-за резонанса поверхностных волн. Максимальная высота 262 см наблюдалась в КА на седьмой волне примерно в 21:30. Резонансные колебания поверхностных волн в КА привели к тому, что высота волны составила более 50 см, это наблюдалось 12 марта около 12:00.

Фазы волн от первой до третьей при увеличенных амплитудах радиальных скоростей на дальнем расстоянии вызывали появление фаз волн на ближнем расстоянии (рисунок 14). Фазовое соотношение постепенно изменялось после сдвига по фазе третьей волны между 20:00 и 23:00, а затем сформировалось синфазное соотношение в диапазоне от 1,5 до 30 км вдоль луча радара, связанное с возникновением резонанса поверхностных волн. Изменение фазового соотношения четко видно на временной диаграмме радиальных скоростей в HF-12К и HF-24К (рисунок 14). С первой по третью волну фаза в HF-12К запаздывает по сравнению с фазой в HF-24К примерно на 4 минуты. Учитывая, что средняя глубина между двумя точками составляет 50 м, время перемещения волны цунами оценивается примерно в 8 минут, что меньше наблюдаемого временного запаздывания, если предположить, что направление распространения первых трех волн будет отличаться от направления радиолокационного луча.

5 Выводы

Волны цунами распространялись от континентального шельфа к внутренней части пролива Кии в виде прогрессивных волн вплоть до третьей волны, а затем волнами возбуждались собственные колебания. Это вызвало вторичные колебания в проливе и затопления на побережьях⁵.

Основным преимуществом океанографического радара можно считать расстояние от берега, на котором могут быть обнаружены цунами; однако необходимо проведение дополнительных технических и эксплуатационных исследований^{6, 7}.

⁵ Hinata, H. *et al.*, Propagating tsunami wave and subsequent resonant response signals detected by HF radar in the Kii Channel, Japan, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95: 268-273, 2011.

⁶ Lipa *et al.*, Japan Tsunami Current Flows Observed by HF Radars on Two Continents, *Remote Sens.* 3: 1663-1679, 2011.

⁷ HELZEL Messtechnik GmbH. WERA Ocean Rader in Chile Observed Tsunami Signatures after the Earthquake in Japan on March 11, 2011, *Press Release* on May 2011, (<http://www.helzel.com/files/432/upload/Tsunami/Press-Release-Tsunami-WERA-2011.pdf>).

Этот вывод выявил еще одно применение океанографического радара – подробное измерение полей поверхностных течений с высокой пространственно-временной разрешающей способностью, позволяющее детально разобраться в процессах ответных резонансных колебаний в проливах, вызванных волной цунами. В связи с тем что ответные резонансные колебания могут возбуждать волны бóльшей высоты, чем исходные, возникает еще один важный вопрос, который должен решаться в процессе защиты от неожиданных стихийных бедствий.

РИСУНОК 11

Карта затопления и высоты набега волны, выпущенная Объединенной группой исследования землетрясения и цунами в Тохоку в 2011 году (<http://www.coastal.jp/tfit/>)

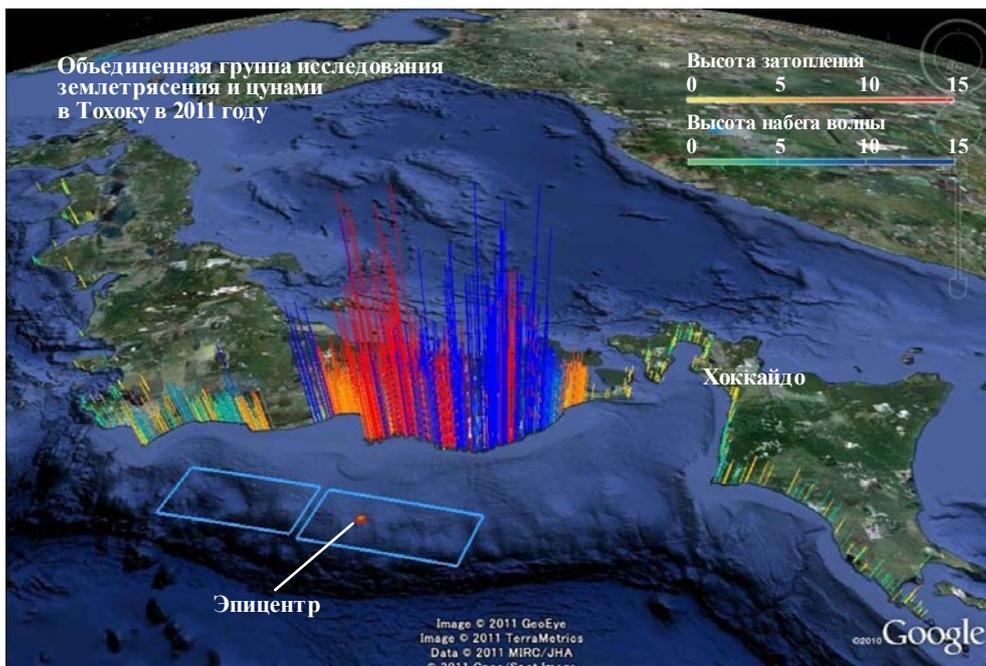
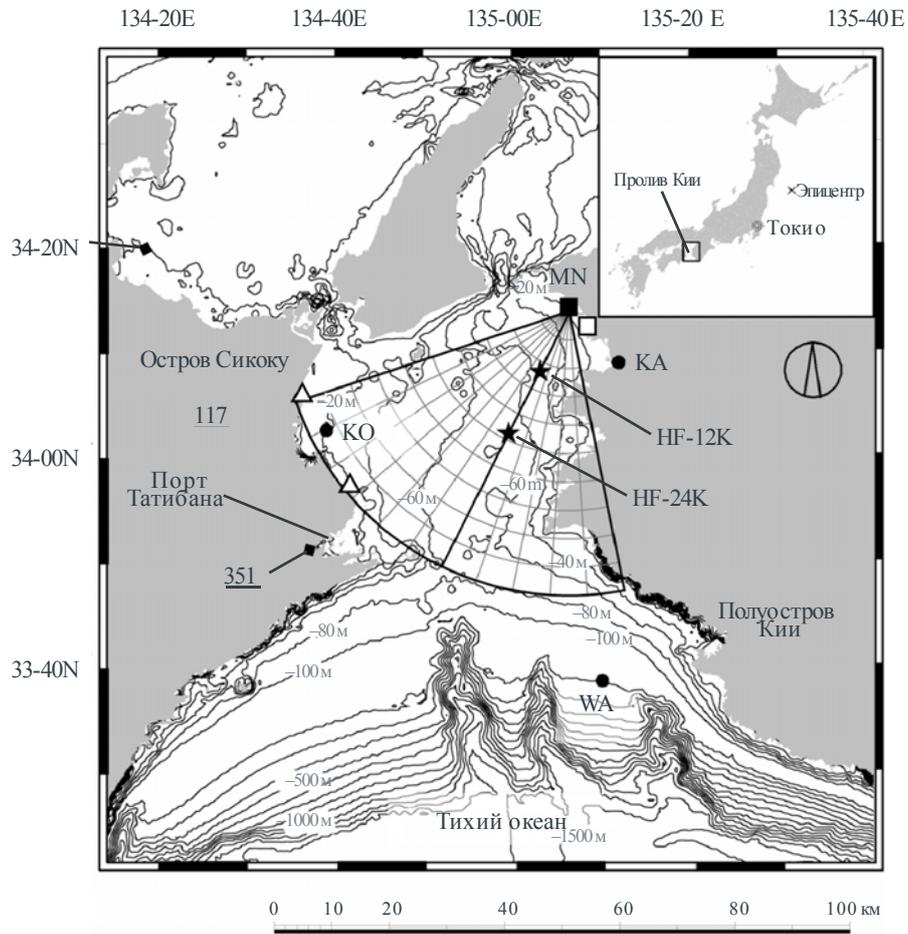


РИСУНОК 12

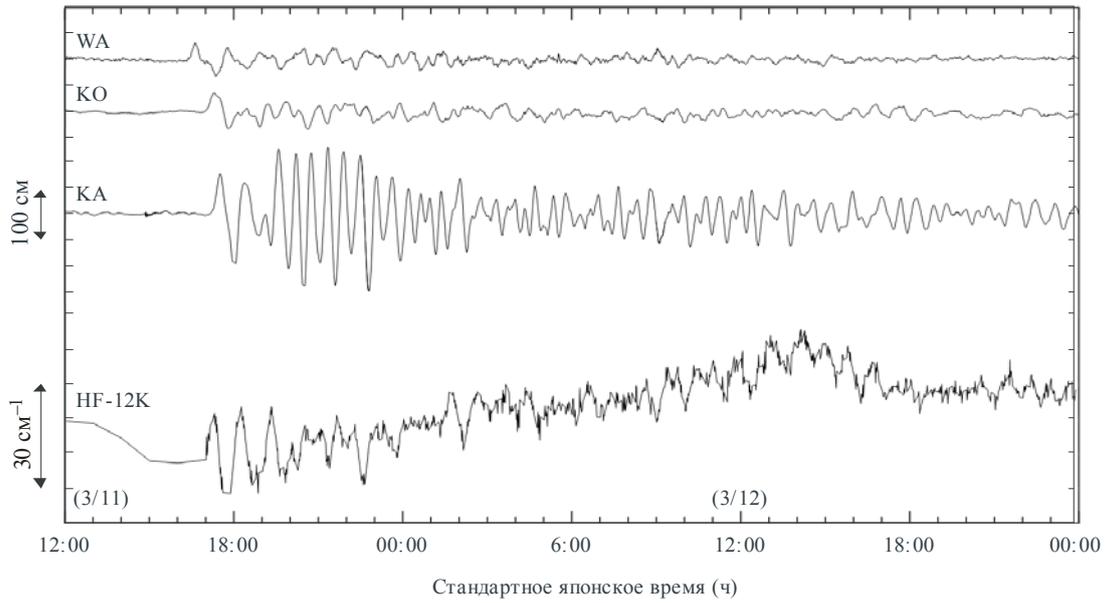
Карта океанографических радиолокационных систем (квадраты и треугольники) и систем контроля подъема поверхности моря (сплошные круги) в проливе Кии, западное побережье Японии



M.1874-12

РИСУНОК 13

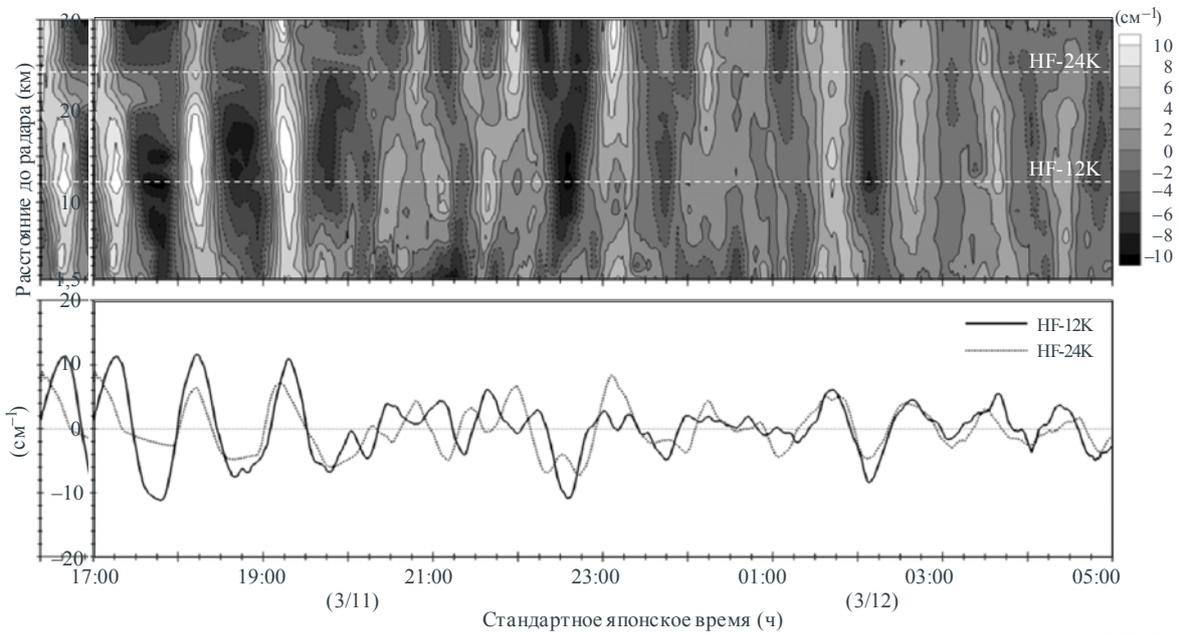
Подробная информация о подъеме поверхности моря в WA, KO, KA и радиальной скорости в HF-12K (12 км от берега до радара)



M.1874-1 3

РИСУНОК 14

Время–расстояние (вверху) и временная диаграмма (внизу) радиальных скоростей в течение 12 часов, начиная с 17:00 11 марта 2011 года



M.1874-14