

## Малогабаритная многочастотная РЛС декаметрового диапазона для мониторинга океана и ионосферы. Концепции разработки и первые результаты

В.А. Гарбацевич<sup>1</sup>, В.А. Телегин<sup>1,2</sup>, В.С. Лапшин<sup>2</sup>, Н.А. Шаболдин<sup>2</sup>,  
И.И. Иванов<sup>3,2</sup>, Д.В. Ивонин<sup>4</sup>

<sup>1</sup> *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн*

*им. Н.В. Пушкова РАН,*

*142190, Московская область, г.Троицк*

*e-mail: vgarb@izmiran.ru*

<sup>2</sup> *НИИ дальней радиосвязи,*

*107076, Москва, Бухвостова 1-я ул., 12/11*

*e-mail: telvik@rambler.ru*

<sup>3</sup> *НИИ физики ЮФУ,*

*344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194,*

*e-mail: iivv@yandex.ru*

<sup>4</sup> *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,*

*117997, Москва, Нахимовский проспект 36*

*e-mail: toulon@bk.ru*

Приводится концепция, описание и первые тесты разработанной малогабаритной многочастотной РЛС (МРЛ «Вектор») декаметрового диапазона (1-25 МГц) для мониторинга океана и ионосферы. РЛС предназначена для измерения поля течений до 50 км от берега с дискретностью 1 x 1 кв.км и поля волнения в условиях открытых и сложных прибрежных акваторий, а также выполнения стандартных задач зондирования ионосферы. РЛС имеет малую излучаемую мощность и использует фазо-манипулированный сигнал (16 элементная М-последовательность), малогабаритную антенну длиной около 60 м. Приведены результаты тестов.

**Ключевые слова:** многочастотный радар, прибрежный КВ радар, дистанционное зондирование, течения, волнение.

### Радар

Приводится концепция, описание и первые тесты разработанной малогабаритной многочастотной РЛС (МРЛ «Вектор») декаметрового диапазона (1-25 МГц) предназначенной для мониторинга океана и ионосферы. Разработка ведется в тесном сотрудничестве Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), НИИ дальней радиосвязи (НИИДАР), Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИОРАН) и НИИ физики ЮФУ. МРЛ «Вектор» предназначен для контроля состояния морской поверхности методами импульсного радиозондирования и оперативной диагностики ионосферы при ее вертикальном, наклонном зондировании (ВЗ и НЗ). МРЛ способен обеспечивать реализацию своих функций, как при автономной работе, так и в составе наземно-космического геофизического комплекса. МРЛ решает следующие задачи:

1) *при мониторинге состояния морской поверхности обеспечивает измерение:*

- характеристик волнения (бальности, амплитуды, пространственно-временного спектра);

- скорости течения по направлению к условному центру приемной антенны;
- направления и скорости течения в составе комплекса, состоящего из 2 и более МРЛ;
- вертикального профиля течений до глубины 20 м;

2) при ионосферном мониторинге обеспечивает:

- измерение амплитудно-частотной зависимости от действующей высоты отраженных ионосферой сигналов на разделенных магнитоионных компонентах;
- измерение характеристик динамических процессов в ионосфере (доплеровский эффект для спектров сигналов отраженных от ионосферы);
- измерение углов прихода отраженных ионосферой сигналов;
- расчет профиля электронной концентрации ионосферы при полуавтоматическом (ручном) выделении следов на ионограммах;

3) после предварительной обработки измерений обеспечивает:

- хранение и накопление в базе данных результатов измерений;
- выдачу результатов измерений и обработки по каналу связи потребителям.



Рис. 1. Общий вид аппаратуры

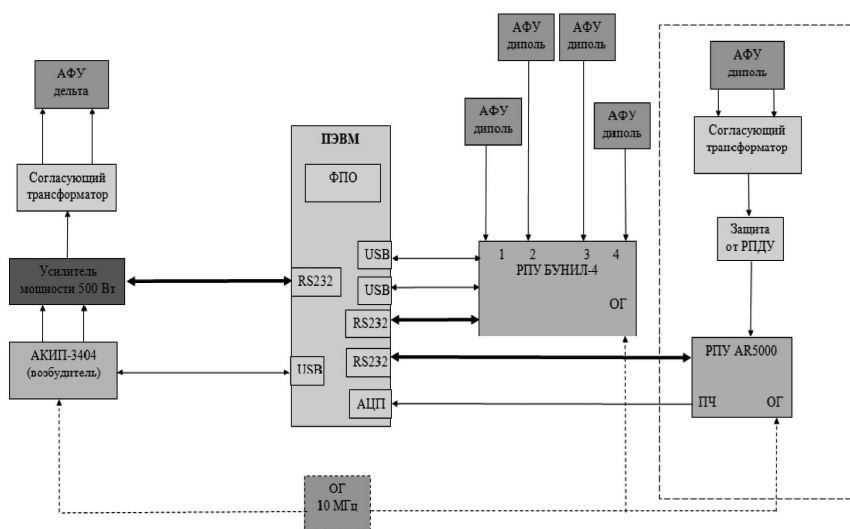


Рис. 2. Структурная схема изделия

На рис. 1 и 2 представлены общий вид аппаратуры и структурная схема. МРЛ «Вектор» состоит из передающей (РПДУ – УМ) и приемной (РПрУ) частей. Основные технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технологические характеристики МРЛ «Вектор»

Параметр	Диапазон значений параметра
Диапазон частот зондирования (МГц)	1 – 40(РПрУ), 1 – 25(РПДУ)
Диапазон высот, дальности зондирования (км)	85 – 900
Разрешение по высоте; дальности (км)	квант 0,03
Излучаемая мощность РПД (кВт в импульсе)	0.6
Тип сигнала	ФКМ 16 элементов *
Форма импульсов	ФКМ до 600 мкс
Измеряемые параметры сигнала	Амплитуда, задержка (фаза, доплер, углы прихода в перспективе)
Время зондирования в диапазоне (сек.)	15 – 40
Закон перестройки	Программируется
Шаг перестройки по частоте (кГц); (разрешение по частоте)	1, 10, 20, 30, 100, 1000
Частота повторения импульсов (Гц)	До 160 (РПДУ)
Количество импульсов на частоте	Программируется
Скорость развертки (МГц/сек.)	Программируется
Время перестройки по частоте (мс)	1
Длительность имп. (мкс)	600 макс.
Точность частоты зондир. (Стабильность ОГ)	5*10-9
Частотные метки	1 МГц (программ.)
Кол-во приемников	1, 4, 8, 16 каналов
Тип РПрУ	Аналого-цифровой
Выход РПрУ	АЦП 14 разр.
5 МГц, ПЧ 465 кГц	
Чувствительность приемника	0.5 – 5 мкВ
Полоса пропускания РПрУ (кГц)	30 – 90
Регулировка «чувствительности» (Аттенюация по входу РПрУ)	0 – 42 дБ
Динамический диапазон (дБ)	84
Вычислительные мощности	Один ПК
Выделение сигналов из шумов	Цифровая обработка с возможностью временного накопления
Программное обеспечение	Комплектуется по требованиям заказчика
Антенны	Дельта – передающая, малогабаритные приемные (дипольные или рамочные)
Размеры антенн	Передающей: 12 * 60 м, Приемных: 4 * 5 * 5 м
Площадь ант поля	60 * 60 м
Потребляемая мощность (кВт)	0,16 без ПК
Вес (кг)	9 без антенн и ПК
Габариты	400 * 400 * 290 мм без антенн и ПК

\* Излучаемый сигнал может быть иной формы (по отдельному заказу).

На рис. 3 и 4 представлены фотографии аналого-цифровое четырехканального приемника и усилителя.



Рис. 3. Аналого-цифровое четырехканальное РПУ БУНИЛ-4 (вид спереди и сзади)

**Технические характеристики аналого-цифрового четырехканального РПУ БУНИЛ-4:**

- ДРЧ 1-40 МГц
- Количество каналов приема 4
- Чувствительность 1 мкВ
- Стабильность внутреннего ОГ  $1 \times 10^{-9}$
- Выход внутреннего ОГ / (вход внешнего ОГ)
- Время восстановления чувствительности 30-50 мкс
- ПЧ 465 кГц
- Полоса пропускания от 30 до 90 кГц (Задается программно)
- Время перестройки 1 мс
- Питание 220 В или 12 В
- Габариты
- Частота дискретизации АЦП 5 МГц
- Встроенный аттенюатор 0-42 Дб



Рис. 4. Усилитель мощности

**Технические характеристики усилителя мощности:**

- ДРЧ 1-25 МГц
- Импульсная мощность 600 Вт
- Максимальная длительность импульса импульса 600 мкс
- Максимальное допустимое КСВ АФУ 3
- Неравномерность АЧХ 1 Дб

- Частота сканирования до 100 Гц
- Выход на симметричный 75 Ом
- Питание 220 В
- Потребляемая мощность 130 ВА
- Габариты 300x300x100
- Масса 8 кг

Для обеспечения помехоустойчивой работы РЛС использует фазо-манипулированный сигнал (16 элементная М-последовательность). Могут использоваться несколько вариантов сигнала (рис. 5 и 6). По морю предусмотрено использование кода Баркера.

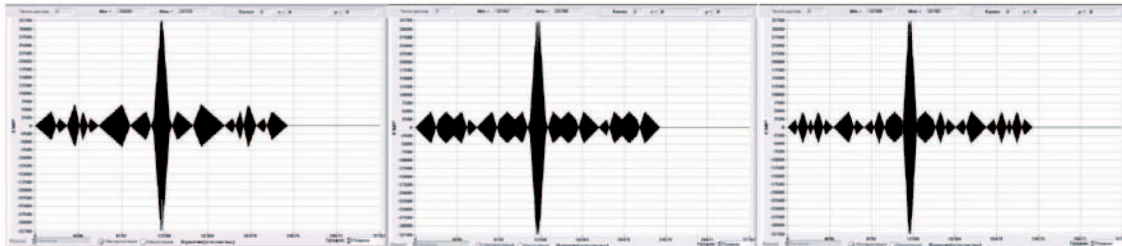


Рис. 5. Свертка сигнала ФКМ

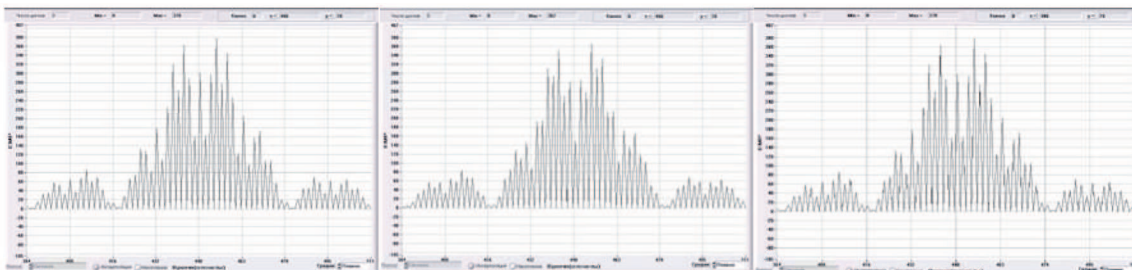


Рис. 6. Спектры сигналов: 1) спектр сигнала Рениша; 2) спектр сигнала М-последовательность 1; 3) спектр сигнала последовательность 2

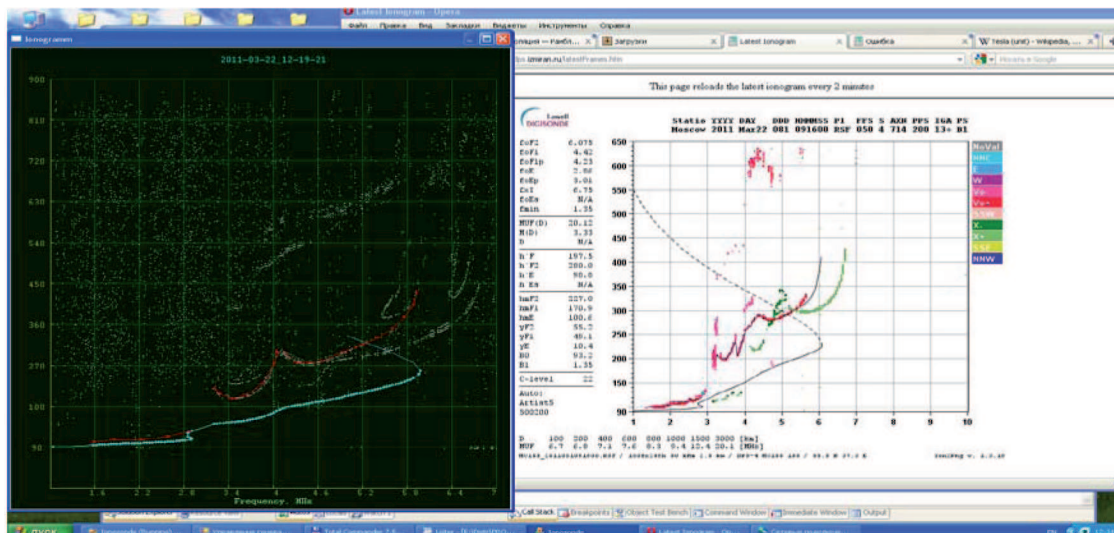


Рис. 7. Ионограмма, сравнение с ионозондом DPS-4 (Рениш), слева МРЛ «Вектор», справа DPS-4

Первые тесты проводились на территории ИЗМИРАН. На фотографиях рис. 7 представлены ионограммы полученные нашим ионозондом (слева) и сравнение с ионограммами, полученными ионозондом DPS-4 «Рениш» (справа) в условиях возмущенной ионосферы.

## Методика измерения вертикального профиля течения

Радиолокатор предназначен для работы в составе прибрежных измерительных комплексов для обеспечения решения задач мониторинга течений и волнения с пространственной дискретностью 1 x 1 кв.км и лучше. В результате использования многочастотного режима возможно также обеспечение измерений вертикального профиля течений. Непрерывная перестройка частоты позволяет зондировать профиль течений с очень высокой точностью.

Принцип многочастотного измерения трехмерного профиля скорости течений представлен на рис. 8. Здесь  $\omega$  – это текущая несущая частота радара,  $\Omega$  – доплеровский сдвиг частоты из-за брегговского рассеяния на поверхностной морской волне с волновым вектором  $k$ ,  $U(z)$  – скорость течения (вертикальный профиль),  $\theta$  – угол между волновым вектором и течением,  $U_{ef}(k)$  – «эффективная» скорость течения (которую видит локатор),  $g=9.8$  м/сек<sup>2</sup>. Подробности методики можно найти в работах [1-11].

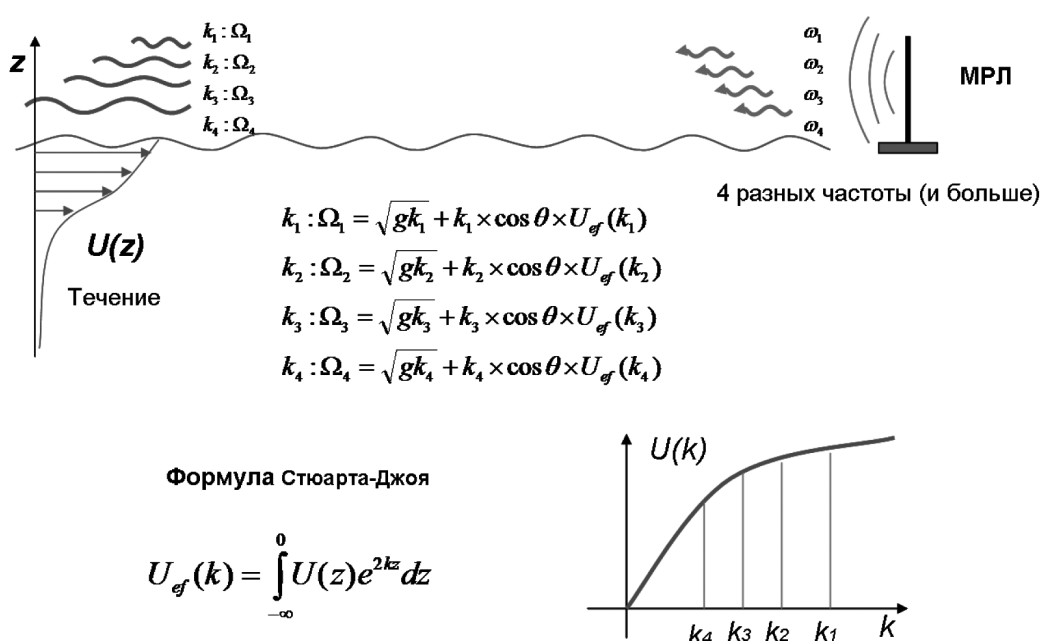


Рис. 8. Принцип многочастотного измерения трехмерного профиля скорости течений

## Литература

1. Мельяновский П.А., Кащеев С.Б., Зайцев Г.Д. Радиоокеанографические исследования морского волнения в декаметровом диапазоне радиоволн // Сб. «Радиооптические исследования Мирового океана» (под ред. Басса Ф.Г. и Рассказовского В.Б.) Харьков. 1992. С.80-99.
2. Fernandez D.M., Vesecky J.F., Teague C.C. Measurements of upper ocean surface current shear with high-frequency radar // J. Geophys. Res – Oceans. 1996. V.101. N.C12. P.28615-28625.
3. Ha E.C. Remote Sensing of Ocean Surface Current and Current Shear by HF Backscatter Radar // Technical Report N.D415-1. Stanford University. Calif. August 1979. 134P.
4. Ivonin D.V. Experimental comparison of radar and ADCP measurements of the current vertical shear // Technical report of the Experiment 2000 in the Rhone's delta. Nonlinear Wave Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology RAS. July 2000. Moscow. 24 p.
5. Ivonin D.V., Broche P., Devenon J.-L., Shkira V.I. Validation of HF radar probing of the vertical shear of surface currents by ADCP measurements. Journal of Geophysical Research, v. 109, n. C4, pp.1-8, April 2004.

6. *Meadows L.A., Vesecky J.F., Teague C.C., Fernandez Y., Meadows G.A.* Multi-frequency HF radar observations of the thermal front in the Great Lakes // Proc. IGARSS 2000, IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium. 24-28 July 2000. Honolulu Hawaii USA. P.114-116.
7. *Shrira V.I., Ivonin D.V., Broche P., de Maistre J.-C.* On remote sensing of vertical shear of ocean surface currents by means of a single-frequency VHF radar // Geophys. Res. Letters. 2001. V.28. N.20. P.3955-3958.
8. *Stewart R.H., Joy J.W.* HF radio measurements of surface currents // Deep Sea Res. 1974. V.21. P.1039-1049.
9. *Teague C.C.* Multifrequency HF radar observations of currents and current shears // IEEE J. Oceanic. Eng. 1986. V.11. N.2. P.258-269.
10. *Teague C.C., Vesecky J.F., Fernandez D.M.* HF Radar Instruments, Past to Present // Oceanography. 1997. V.10. N.2. P.40-45.
11. *Teague C.C., Vesecky J.R., Hallock Z.R.* A comparison of multifrequency HF radar and ADCP measurements of near-surface currents during COPE-3 // IEEE J. Oceanic Eng. 2001. V.26. N.3. P.399-405.

## **Compact multifrequency HF radar for ocean and ionosphere monitoring. Conception and first tests**

**V.A. Garbatsevitch<sup>1,2</sup>, V.A. Telegin<sup>1,2</sup>, V.S.Lapshin<sup>2</sup>, N.A.Shaboldin<sup>2</sup>,  
I.I. Ivanov<sup>3,2</sup>, D.V. Ivonin<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS,  
Troitsk, Moscow region, 142190, Russia  
e-mail: vgarb@izmiran.ru*

<sup>2</sup> *Research Institute for Long-Range Radiocommunication,  
12/11, Bukhvostov str., Moscow, 107076, Russia,  
e-mail: telvik@rambler.ru*

<sup>3</sup> *Research Institute of Physics, South Federal University,  
194, Stachki str., Rostov-na-Donu, 344090, Russia,  
e-mail: iiivv@yandex.ru*

<sup>4</sup> *P.P.Shirshov Institute of Oceanology RAS,  
36, Nakhimovsky av., Moscow, 117997, Russia  
e-mail: toulon@bk.ru*

Conception, description and first tests of compact multifrequency HF radar “Vector” (1-25 МГц) for ocean and ionosphere monitoring is represented. Radar is developed for measurements of ocean currents and wave fields in the coastal zone with the spatial resolution of 1 x 1 km. Radar has small emission, it uses 16-element phase-keyed signal. Small antenna size of 60 m provides simple installations on the coast. Some test, are presented.

**Keywords:** multifrequency HF radar, remote sensing, currents, sea wave spectrum, coastal zone.