

Перспективный радиолокатор для изучения морского волнения

В. Караев¹, М. Каневский¹, Е. Мешков¹, А. Коваленко²

1 – Институт прикладной физики РАН, 603950, Н.Новгород, Ульянова, 46
e-mail : volody@hydro.appl.sci-nnov.ru

2 – ОАО "Научно-исследовательский институт точных приборов", 127490 Москва,
ул. Декабристов 51
e-mail : Alexander.Kovalenko@niitp.ru

Обсуждаются различные способы обзора поверхности океана с помощью скаттерометра микроволнового диапазона. Отмечается, что оптимальным способом является обзор поверхности с помощью сканирующей антенны с ножевогой диаграммой направленности. Именно такой метод обзора предполагается реализовать в перспективном радиолокаторе радиоокеанографического предназначения.

Various methods of survey of the ocean surface with microwave scatterometers are discussed. It is noted that the optimal method is scanning the surface with a swing antenna having a knife-like pattern. Namely this method is assumed to be realized in prospective oceanographic radar.

Радиолокационные методы мониторинга состояния приповерхностного слоя Мирового океана активно применяются для решения широкого круга задач, связанных, например, с погодой и климатом, с загрязнением окружающей среды.

С точки зрения оперативности сбора информации лидерами являются скаттерометры, например, Sea Wind, использующий два луча с узкими диаграммами направленности антенн, установленный на Quikscat [1]. Скаттерометры измеряют скорость и направление ветра. Широкая полоса обзора достигается за счет вращения антенны вокруг вертикальной оси. Вращение позволяет радиолокатору «видеть» непосредственно под собой, что дает системе преимущество по сравнению с предшествующим скаттерометром NSCAT [2]. В результате обработки скаттерометрических данных формируется поле приповерхностного ветра с разрешением примерно 25 x 25 км.

Однако скаттерометры не способны измерять параметры крупномасштабного волнения, что приводит к систематической ошибке при восстановлении скорости приповерхностного ветра по сечению обратного рассеяния. Дело в том, что сечение обратного рассеяния зависит не только от скорости ветра, но и от параметров крупномасштабного волнения. Так как интенсивность волнения в каждом конкретном случае неизвестна, то и влияние крупномасштабного волнения на сечение обратного рассеяния невозможно оценить в каждом конкретном случае и учесть при восстановлении скорости ветра. Эта проблема находит отражение в том, что, несмотря на существенный прогресс в развитии радиолокационной аппаратуры, точность восстановления скорости ветра в настоящее время такая же, как у самых первых скаттерометров.

Независимое измерение параметров крупномасштабного волнения позволит уменьшить неоднозначность и повысить точность определения скорости приповерхностного ветра, поэтому задача определения параметров волнения с помощью радиолокатора является актуальной. Кроме того, информация о поверхностном волнении необходима для оценки интенсивности процесса теплообмена между океаном и атмосферой. Частично информацию о волнении дают радиоальтиметры, измеряющие высоту значительного волнения. К существенным недостаткам этих данных относится низкая периодичность обзора (раз в 10 суток идет

повтор траектории) и узкая полоса обзора (диаметр рассеивающей площадки несколько километров при расстоянии между витками более 100 км. В результате информация является фрагментарной, и анализироваться могут только достаточно медленные процессы, охватывающие значительную территорию.

Параметры крупномасштабного волнения успешно измеряются с самолетов, например, [3, 4]. Однако установка разработанных радиолокационных систем на спутники была невозможна по техническим причинам, связанным с высотой полета спутника.

В настоящее время рассматривается вариант решения проблемы, позволяющий надеяться на решение данной задачи. Реализуется совместный французско-китайский проект метеорологического спутника на котором будет установлен усовершенствованный вариант скаттерометра [5, 6], изготовленный китайцами и французский радиолокатор, способный измерять крупномасштабного волнения [6, 7]. Запуск спутника запланирован на 2012-2013 годы. На рис. 1 показан французский радиолокатор, предназначенный для измерения параметров крупномасштабного волнения из космоса.

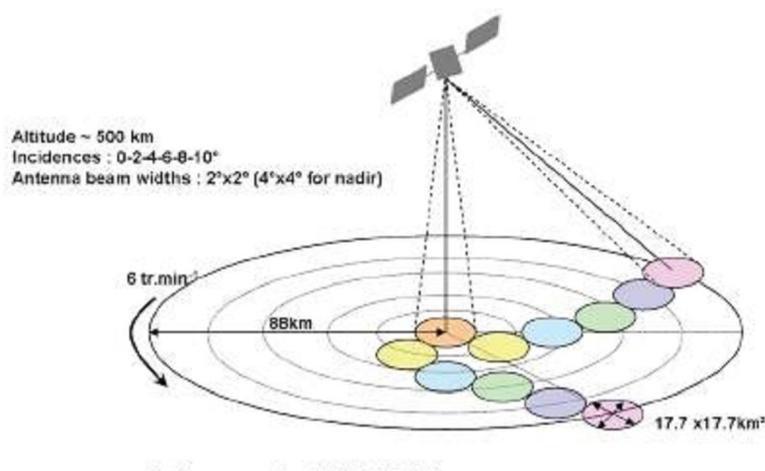


Рис. 1. Усовершенствованная версия радиолокатора SWIMSAT, который будет запущен на французско-китайском метеорологическом спутнике в 2013 году

Недостатком радиолокатора является сложность аппаратуры и недостаточное разрешение, т.е. радиолокатор будет способен «видеть» волны длиннее 70 м и высотой более 3 м в пятне размером 70 км x 70 км [7]. Эти ограничения обусловлены техническими возможностями и в ближайшее время не будут улучшены.

Измерение параметров крупномасштабного волнения радиолокатором возможно за счет использования принципиально другого подхода. Были предложены две концепции радиолокаторов, основанные на использовании радиолокатора с ножевой диаграммой направленности антенны [8, 9] и рассмотрены особенности их применения со спутника.

В данной работе обсуждается новая концепция радиолокатора, объединившая их преимущества.

Радиолокатор с ножевой антенной

Доплеровский радиолокатор с ножевой диаграммой направленности антенны, ориентированной вдоль траектории полета, позволяет минимизировать уровень шумов за счет длительного накопления отраженного сигнала.

При использовании ножевой антенны, например, $1^0 \times 25^0$ и высоте полета 800 км, на поверхности освещается площадка размером примерно 14 x 355 км. Сложность

обработки отраженного сигнала связана с тем, что морское волнение нельзя считать однородным на таком масштабе, а кроме того, такое разрешение является совершенно неудовлетворительным для решения задач океанографии.

Была разработана процедура синтезирования отраженного поля, которая позволяет получить высокое разрешение, например, 14×14 км и сформировать суммарный сигнал, аналогичный "одномоментному" наблюдению морской поверхности радиолокатором с ножевой диаграммой направленности антенны (14×355 км) [8]. Процедура синтезирования позволяет перейти к работе с квазиоднородным волнением и устранить влияние пространственной изменчивости волнения при измерении со спутника.

На рис. 2 приведена иллюстрация процедуры синтезирования.

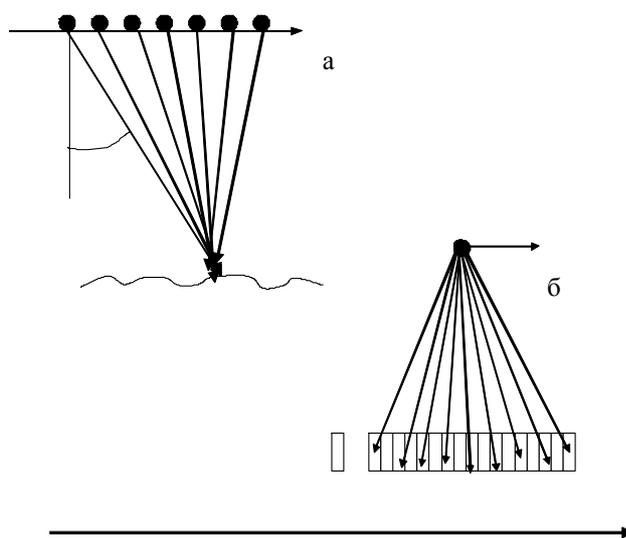


Рис. 2. Иллюстрация наблюдения элементарной рассеивающей площадки (а) и процедуры синтезирования (б)

Серьезным недостатком является отсутствие полосы обзора, т.е. можно получить только сечение поверхностного процесса, а не его изображение, как в скаттерометрии.

Преодолеть этот недостаток можно с помощью вращения антенны вокруг вертикальной оси. Концепция такого радиолокатора исследовалась в [9] и были разработаны алгоритмы восстановления дисперсии наклонов в полосе обзора $250-350$ км с разрешением 14×14 км.

Переход к вращению антенны приводит к тому, что радиолокатор не может видеть все элементарные ячейки непрерывно (Рис. 3). Частота наблюдения элементарной ячейки зависит от скорости вращения антенны.

Каждая элементарная рассеивающая ячейка видна только под несколькими углами падения, поэтому для режима панорамного обзора был разработан новый алгоритм определения дисперсии наклонов поверхности.

В результате переход к режиму вращения антенны позволяет получить широкую полосу обзора с хорошим разрешением, однако теряется преимущество ножевой антенны, позволяющей продолжительное время наблюдать за элементарной рассеивающей площадкой и подавлять флуктуации мощности отраженного сигнала.

В данной работе рассматривается радиолокатор, совмещающий преимущества радиолокаторов с неподвижной антенной и с вращающейся антенной системой.

Новая концепция радиолокатора

В самолетных вариантах радиолокаторов, измеряющих волнение, используется режим сканирования в направлении, перпендикулярном направлению движения [3, 4]. Это позволяет получить двумерное изображение поверхности. В зависимости от радиолокатора и выбора алгоритма обработки восстанавливается высота или наклон поверхности.

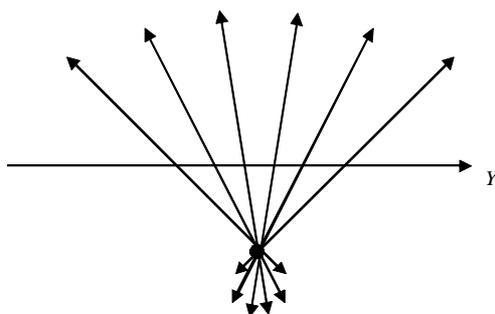


Рис. 3. Иллюстрация наблюдения элементарной рассеивающей ячейки при трех оборотах антенны (высота 800 км, скорость - 8 км/с, время наблюдения - 31 с)

Режим сканирования (или качания ножевой антенны) представляется удачной альтернативой вращению антенны вокруг вертикальной оси. На рис. 4 показана схема зондирования.

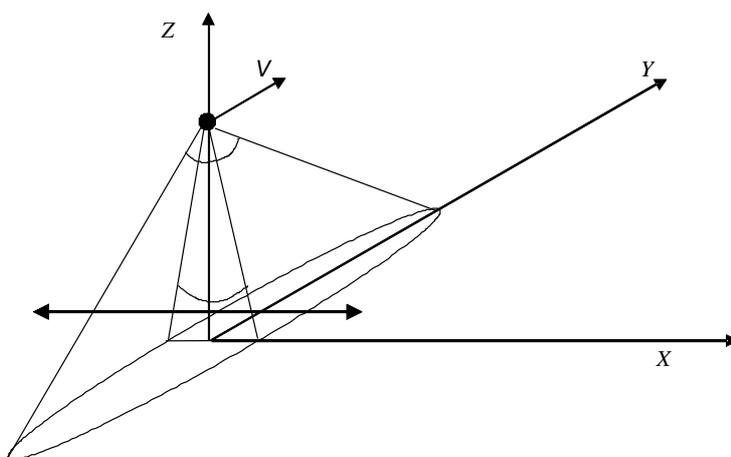


Рис. 4. Схема измерения

Сканирование происходит в направлении, перпендикулярном направлению полета КА и, при выборе частоты сканирования, например, 1 Гц, радиолокатор будет видеть каждую элементарную ячейку с шагом по углу примерно в 1° , т.е. Рассмотренная выше процедура синтезирования поля параметров волнения может быть эффективно применена. Это аналог неподвижной антенны для произвольного угла падения и алгоритмы восстановления дисперсии наклонов, разработанные для нее, будут работоспособны.

В результате сканирования обеспечивается сбор информации в полосе обзора, как и в случае радиолокатора с вращающейся антенной. Вследствие этого можно адаптировать ранее разработанные алгоритмы и определить направление распространения волнения и дисперсию наклонов вторым способом.

При размещении на КА бортовую аппаратуру радиолокатора целесообразно интегрировать в состав многофункционального скаттерометра K_u диапазона. В этом случае при её реализации могут быть применены унифицированные технические решения, с использованием, в том числе, современных технологий активных фазированных антенных решёток (АФАР).

Заключение

Переход от вращения антенны к режиму поперечного сканирования для доплеровского радиолокатора с ножевой антенной позволяет сохранить полосу обзора, свойственную радиолокатору с вращающейся антенной, и использовать для обработки процедуру синтеза сигнала, разработанную для неподвижной антенны. Таким образом, новый радиолокатор объединяет преимущества обеих радиолокационных систем. Для определения дисперсии наклонов могут использоваться алгоритмы, разработанные для радиолокаторов неподвижной и вращающейся антеннами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00181-а) и программы ОФН РАН «Радиофизика».

Литература

1. Spencer M., C.Wu, D.Long, Tradeoffs in the design of a spaceborne scanning pencil beam scatterometer: application to Seawinds // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 1997, v. 35, N 1, p. 115-126
2. Naderi F., M.Freilich, D.Long, Spaceborne radar measurements of wind velocity over the ocean – an overview of NSCAT scatterometer system // Proceed. of the IEEE, 1991, v. 79, N 6, p. 850-866
3. Walsh E.J., Hancock III D.W., Hines D.E., Directional wave spectra measured with the surface contour radar // J. Phys. Oceanogr., 1985, v.15, p. 566-592
4. Walsh E.J., Vandemark D.C., Measuring sea surface mean square slope with a 36-GHz scanning radar altimeter // J. Geophys. Res., v. 103, N C6, p. 12587-12601
5. Chung-Chi Lin, Rommen B., Wilson J.J.W., Impagnatiello F., Park P.S., An analysis of a rotating, range-gated, fanbeam spaceborne scatterometer concept // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, v. 38, N 5, p. 2114-2121
6. Hauser D., Liu Jianqiang, CFOSAT. Wind and wave observations from space: A French-Chinese mission // Globwave Workshop, Brest, September 2007
7. Tison C., D.Hauser, G,Carayon, J.Lambin, P.Castillan, J.Souyris A space borne radar for directional wave spectrum estimation: first performance simulations // Proceedings of IGARSS 2008
8. Караев В., М.Каневский, Г.Баландина, Е.Мешков, П.Челленор, М.Срокосз, К.Гомменджинджер, Методы измерения наклонов водной поверхности радиолокатором с ножевой диаграммой направленности антенны, Исследование Земли из Космоса, 2003, № 5, 51-63 стр.
9. Караев В., М.Каневский Г.Баландина Е.Мешков П.Челленор М.Срокосз, К.Гомменджинджер, Новые средства дистанционной диагностики океана: радиолокатор СВЧ-диапазона с ножевой диаграммой направленности антенны, Исследование Земли и Космоса, 2004, N2, 41-52