

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.157-159

ДВА НОВЫХ АСПЕКТА ПРИМЕНЕНИЯ КВ-РАДИОЛОКАЦИИ В АРКТИКЕ

В.А. Телегин^{1,2}, В.В. Коваленко²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия

²Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Актуальность рассматриваемого материала обусловлена необходимостью эффективного освоения Северного морского пути. Первый аспект относится к решению задач оперативной океанографии для морей Северного Ледовитого океана на основе использования методов и средств прибрежной КВ-радиолокации. Отработка этого подхода ведется в настоящее время на черноморском полигоне. В дальнейшем предполагается, что данная технология будет адаптирована к условиям морей Северного Ледовитого океана. Второй аспект относится к возможностям применения в высоких широтах, создаваемой в России системы внешнего зондирования ионосферы Земли. Наличие в авроральной ионосфере неоднородностей, вытянутых вдоль магнитного поля, оказывает значительное влияние на распространение радиоволн КВ-диапазона и должно учитываться при интерпретации ионограмм внешнего зондирования. В качестве примера могут быть использованы данные спутника ИК-19.

Среди характерных для оперативной океанографии средств реально-временного измерения и съема данных об океанической среде заметное место заняли радиолокационные системы, эксплуатирующие эффект дальнего распространения волн вдоль поверхности моря при настильном приповерхностном зондировании и эффекты взаимодействия поля зондирующих сигналов с неровностями поверхности.

Причины этой значимости также связаны с повышенной пространственной и временной изменчивостью свойств океанической среды в прибрежных районах (прибрежных водах [1, 2]). Эти причины стоит отметить в сравнении с другими средствами наблюдения. Среди этих средств: различные контактные измерители в виде океанологических станций и средств, развертываемых с различных носителей и средства дистанционного зондирования океана со спутниковых платформ. В общем случае справедливо следующее утверждение.

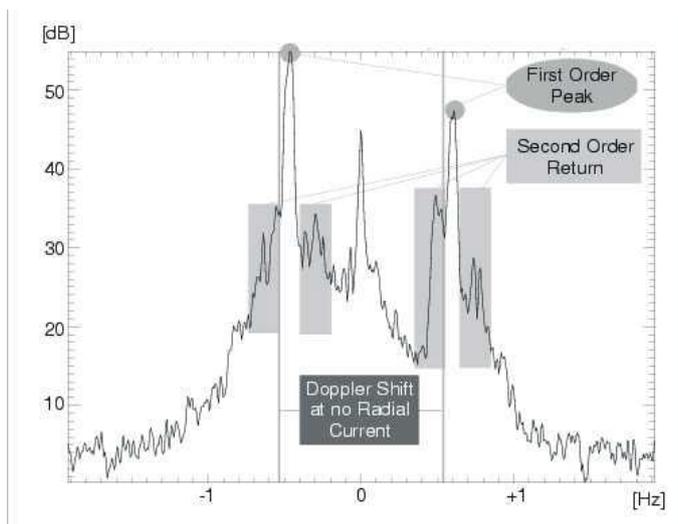


Рисунок 1. Форма сигнала, отраженного от морской поверхности на некотором расстоянии от радара

Чем выше изменчивость океанической среды, тем больше требуется измерений, тем плотнее в пространстве должны быть размещены измерители и тем чаще пользователь должен получать соответствующие данные. Даже при построении наблюдательной системы в виде нерегулярных сеток, при которых плотность размещения измерителей согласуется с изменчивостью среды, указанное утверждение по отношению к прибрежным областям остается справедливым. Здесь требование большого числа станций, осуществляющих контактные измерения, должно быть признано трудновыполнимым. Периоды съема океанических данных со спутников известны. При всей полезности спутниковых данных в приложениях оперативной океанографии, временная изменчивость среды оставляет желать более частых измерений, чем обеспечивают спутниковые системы. В этих условиях

радиолокация оказалась в положении единственного инструмента, способного покрыть практически непрерывными реально-временными измерениями прибрежные районы [3]. Вопрос лишь в качестве указанных измерений и их способности усваиваться теми моделями, которые также должны соответствовать

изменчивости прибрежных районов и, таким образом, связывать с нужным разрешением поверхностные и под - поверхностные процессы.

Использование КВ-радаров для съема информации об океанских течениях началось в 1970-х годах. Объект измерений – течения, прибрежные вихри, характеристики морского волнения. На больших площадях измеряются радиальные компоненты скорости течений и/или компоненты скорости течений, характерные для бистатической (мультистатической) локации, когда излучатель и приемник разнесены. Физика отражений от морской поверхности – брэгговское резонансное рассеяние. Этот тип рассеяния связан с когерентным отражением зондирующего сигнала неровностями океанской поверхности с характерным масштабом, равным $\frac{1}{2}$ длины волны излученного сигнала. На рис. 1 приведен характерный доплеровский спектр [3]. На рисунке хорошо видно, что спектр отражений от морской поверхности содержит два явно выраженных пика отражения первого порядка, называемых линиями Брега. Они являются результатом однократного резонансного рассеяния электромагнитной волны на морских волнах. Кроме отражения первого порядка имеются также и отражения второго порядка, обусловленные рассеянием на морских волнах. Доплеровские сигналы будут симметричными относительно нулевой отметки в случае, если поверхность океана не движется. Наличие течений в направлении на радар или от него будет смещать линии Брега влево или право, соответственно.

Кружочками на рис. 1 отмечены два резонансных пика первого порядка. Две вертикальные линии показывают положение резонансных пиков Бреговского рассеяния в случае отсутствия радиальных течений. В данном случае оба пика смещены вправо, что говорит о наличии морского течения от радара. По наличию и величине пиков второго порядка можно судить о подповерхностных течениях на глубину до нескольких метров.

Системы радаров КВ диапазона обеспечивают получение в реальном времени информации в виде синоптической картины распределения векторов поверхностных течений и информации о волнении (синоптическая информация о поверхностном волнении). Характерный для КВ радиолокации диапазон частот: 3-30 МГц (длина волны 100-10 метров). Характерная длина поля приемных антенн (L) – 100 метров. Наибольшее распространение получили радары, рассчитанные на диапазон частот 12-25 МГц.

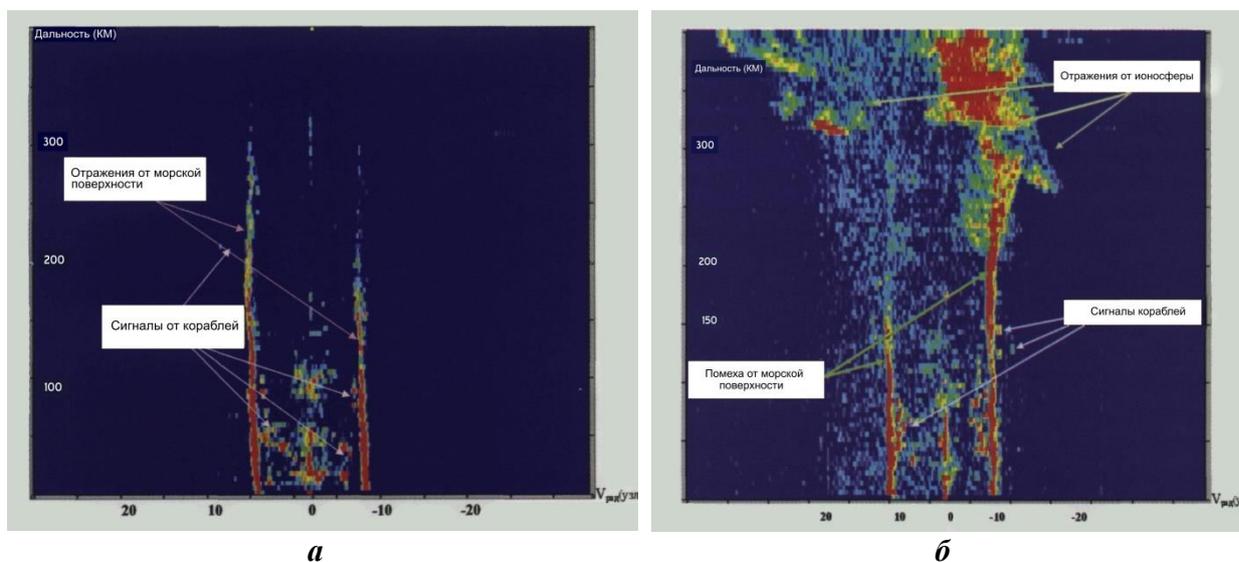


Рисунок 2. Отраженные сигналы от кораблей, морской поверхности и ионосферы в дневное (а) и переходное (б) время суток. По оси X отложены скорости в радиальном направлении (минус – от радара), по оси Y – расстояние от радара

В течение 5 лет на черноморском полигоне института океанологии РАН (ИОРАН) в г. Геленджик ведутся работы с радаром CODAR американского производства. Дальность действия радара не превышает 20 км, что в первую очередь определяется выбором частоты 25 МГц. Сопоставление данных о величинах скоростей, полученных с помощью радара и контактными методами, показали очень хорошее соответствие [4]. В 2019 году на полигоне будет установлен радар WERA немецкого производства, работающий на двух частотах 13 и 25 МГц [3]. Использование частоты 13 МГц позволит увеличить дальность работы до 100 км, а наличие двух таких радаров позволит построить карту морских течений в секторе 100×100 км², что позволит перейти к решению задач оперативной океанографии с усвоением данных радиолокационного зондирования гидрофизическими моделями. В дальнейшем, вся разработанная методика численного моделирования, измерения данных о состоянии морской среды, усвоения этих данных моделями будет адаптирована применительно к морям Северного ледовитого океана. Последующее развитие радиолокационных методов

зондирования морской поверхности на черноморском полигоне ИОРАН будет заключаться в уменьшении частоты зондирующего сигнала с целью получения отраженного сигнала на расстояниях до 300 км от радара. При этом мы будем получать и сигналы, отраженные от ионосферы.

На рис. 2 приведены уровни сигналов от морской поверхности и кораблей из работы [5]. Видно, что скорость морских течений можно определять на расстояниях до 300 км. При наличии перемещающихся неоднородностей в ионосфере их динамику можно наблюдать в результате рассеяния зондирующего сигнала на этих неоднородностях.

Теперь кратко перейдем ко второму аспекту, заявленному в данной статье. В течение последних 13 лет в ИЗМИРАН была проведена большая работа по обработке практически всего объема ионограмм внешнего зондирования, полученных на спутнике ИК-19 (1979-1981гг). В 40% случаев мы имеем дело с так называемыми «чистыми» ионограммами, на которых четко виден след, отраженный от ионосферы и земли, и легко можно определить критическую частоту слоя F2. В остальных случаях след уширяется, появляются дополнительные отражения по мере увеличения в ионосфере неоднородностей разного масштаба. Дальнейшее усиление неоднородностей различного масштаба и интенсивности приводит к полному размытию следа и появлению вместо него некоего облака точек. Число таких размытых ионограмм достигает 10% от общего количества. В основном они наблюдаются в высоких широтах и на магнитном экваторе. Анализ таких случаев и указал на необходимость учитывать реальную диаграмму направленности антенн ионозонда ИС-338 на спутнике ИК-19. В настоящее время расчет диаграммы направленности антенны в КВ диапазоне не представляет большого труда. Результаты расчета для двух диполей в диапазоне 0.3-5 МГц и 5-16 МГц показаны в статье [6] данного сборника. Понятно, что при пересечении спутником участков ионосферы с сильно вытянутыми вдоль магнитного поля неоднородностями необходимо учитывать реальную диаграмму направленности антенн.

Заключение

Вновь создаваемые системы внешнего зондирования ионосферы и прибрежной радиолокации морской поверхности в качестве дополнительной информации могут обеспечить нас новыми знаниями о неоднородностях в высокоширотной ионосфере и об их динамике. Возможность получения такой информации необходимо закладывать еще на этапе проектирования данных систем.

Литература

1. Ann Kristin Sperreik. Modeling coastal circulation in Norway using a high-resolution 4D-Var ocean assimilation system. Thesis for degree of PhD, University of Bergen, 2017
2. Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. Изд. «Мир», 1988
3. Helzel T., B. Hansen. How monitoring by Coastal Radar becomes more and more important as tool for hazard management and environmental protection. Press-release WERA. www.helzel.com
4. Зацепин А.Г., Горбачкий В.В., Мысленков С.А., Шпилев Н.Н., Дудко Д.И., Ивонин Д.В., Сильвестрова К.П., Баранов В.И., Телегин В.А., Куклев С.Б. «Сравнение характеристик течений, измеренных КВ и СВЧ радиолокаторами на гидрофизическом полигоне ИО РАН в Черном море, с данными ADCP и дрейфтеров»// «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 2017, г.Москва, ИКИ, т.14, №7, с. 250-266
5. Евстратов Ф.Ф. Проблемы и достижения в создании в Российской Федерации загоризонтных РЛС поверхностной волны. В кн. Диалектика технологий воздушно-космической обороны М. «Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2011.с. 204-220
6. Телегин В.А., Гарбацевич В.А., Иванов И.И., Каптюг А.А. Учет особенностей диаграмм направленности для ретроспективного анализа и соответствующей интерпретации ионограмм внешнего зондирования. Труды 41 семинара по физике авроральных явлений, “Physics of Auroral Phenomena”, Proc. XLI Annual Seminar, Apatity, 2018