

РАЗНОРАКУРСНОЕ КОНТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПОРТРЕТОВ МОРСКИХ СУДОВ

Приклонская В.И.
АО «Корпорация «Комета»

*19-я Международная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из
космоса», г. Москва, ИКИ РАН, 15 –19 ноября 2021 г.*

ВВЕДЕНИЕ

Остается актуальным повышение вероятности правильного распознавания типов (классов) морских судов (МС) по их радиолокационным портретам (РЛП), получаемым с помощью космических РЛС с синтезированной апертурой антенны (КРСА).

На высокодетальных радиолокационных (РЛ) изображениях в координатах «азимутальное направление X -- горизонтальная дальность R_r » с разрешающей способностью не хуже 1,5--2 м, характерной для прожекторного режима съемки КРСА X - и S - диапазонов частот, информативные при визуальном распознавании МС элементы архитектуры (палубы, надстройки, дымовые трубы, мачты и т.д.) и оснастки (краны, трубопроводы, удерживающие устройства, промысловое оборудование, антенные посты и т.д.) отображаются на РЛП в виде групп структурных признаков: точек, линий и участков различного контраста (интенсивности), участков с измененной текстурой и т.д.

Местоположение, интенсивность, размеры и форма таких групп признаков зависят от ракурса наблюдения и могут оцениваться, сравниваться в процедурах распознавания с использованием **многоракурсных контурных моделей (КМ) РЛ изображений информативных элементов архитектуры, оснастки и МС-гипотез в целом.**

- **Цель работы** – разработка разноракурсных контурных моделей азимутально–дальностных радиолокационных (РЛ) портретов морских судов с учетом особенностей формирования таких портретов.
- При разработке КМ МС следует учитывать: ракурс наблюдения, инверсию рельефа отражающей поверхности, присутствие доминантных центров отражения в архитектуре МС, попадание части отражающей поверхности в РЛ тень, многолучевое распространение радиоволн, возможное локальное снижение азимутального разрешения при отображении малоразмерных сложных отражателей, возможное изменение поляризации отраженного сигнала и т.д.
- В данной работе рассматриваются РЛП судов на стоянках.
- Для разработки КМ можно использовать информацию космических опто-электронных (ОЭ) средств наблюдения в видимом диапазоне (например, типа GeoEye-1), а также фотоснимки, полученные для различных ракурсов с земной поверхности и/или с авианосителей, – с учетом основных отличий формирования оптических и радиолокационных изображений.

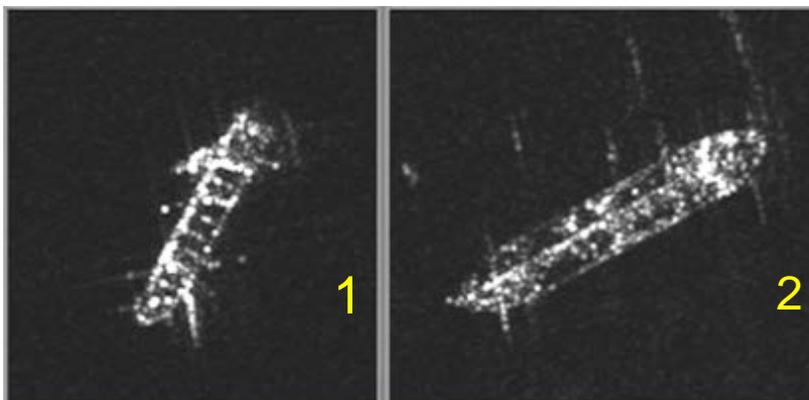
ПРИМЕРЫ РЛ ПОРТРЕТОВ МОРСКИХ СУДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ КРСА ТИПА TERRASAR-X ($\lambda \approx 3$ см) В МАРШРУТНОМ РЕЖИМЕ

Разрешающая способность $\Delta X, \Delta R_{\Gamma} \approx 3,5$ м;

местный угол падения радиоволн $\gamma_{\text{п}} = 33,7^{\circ}$.

Стрелка указывает проекцию направления наблюдения на земную поверхность.

Приведенные примеры *уникальны*: низкие погрешности обработки РЛ информации позволили обеспечить высокую детальность РЛ портретов судов в *маршрутном* режиме наблюдения при $\Delta X, \Delta R_{\Gamma} \approx 3,5$ м



РЛП морских судов:
1 – контейнеровоза;
2 – танкера.



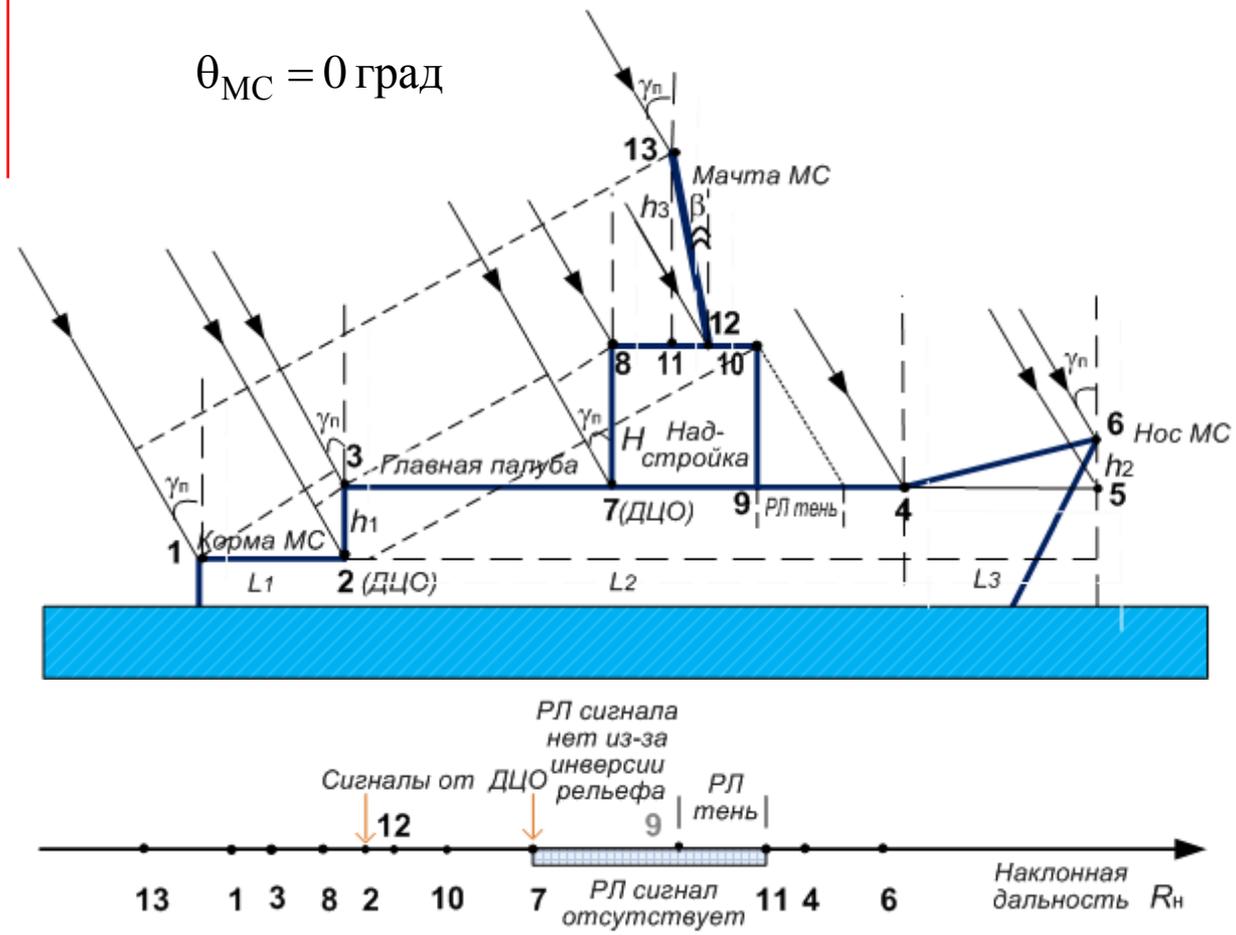
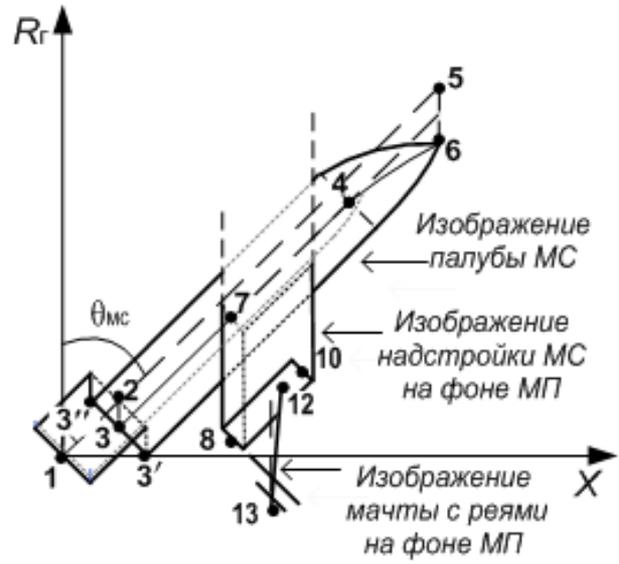
Фотографии морских судов тех же классов

ФОРМИРОВАНИЕ РЛ ПОРТРЕТА МС В КООРДИНАТАХ «АЗИМУТАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ X – ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ДАЛЬНОСТЬ R_Г»

Из проведенных с помощью формулы дальности оценок следует, что уголкового отражатели с длиной ребра 0,2–0,7 м обнаруживаются на фоне шумов РЛ тракта, а также на фоне МП и палубы на дальностях, характерных для КРСА.

Длина корпуса МС $L_{мс} = L_1 + L_2 + L_3$;
Некоторые точки на отражающей поверхности обозначены номерами для удобства контроля их отображения на РЛП.

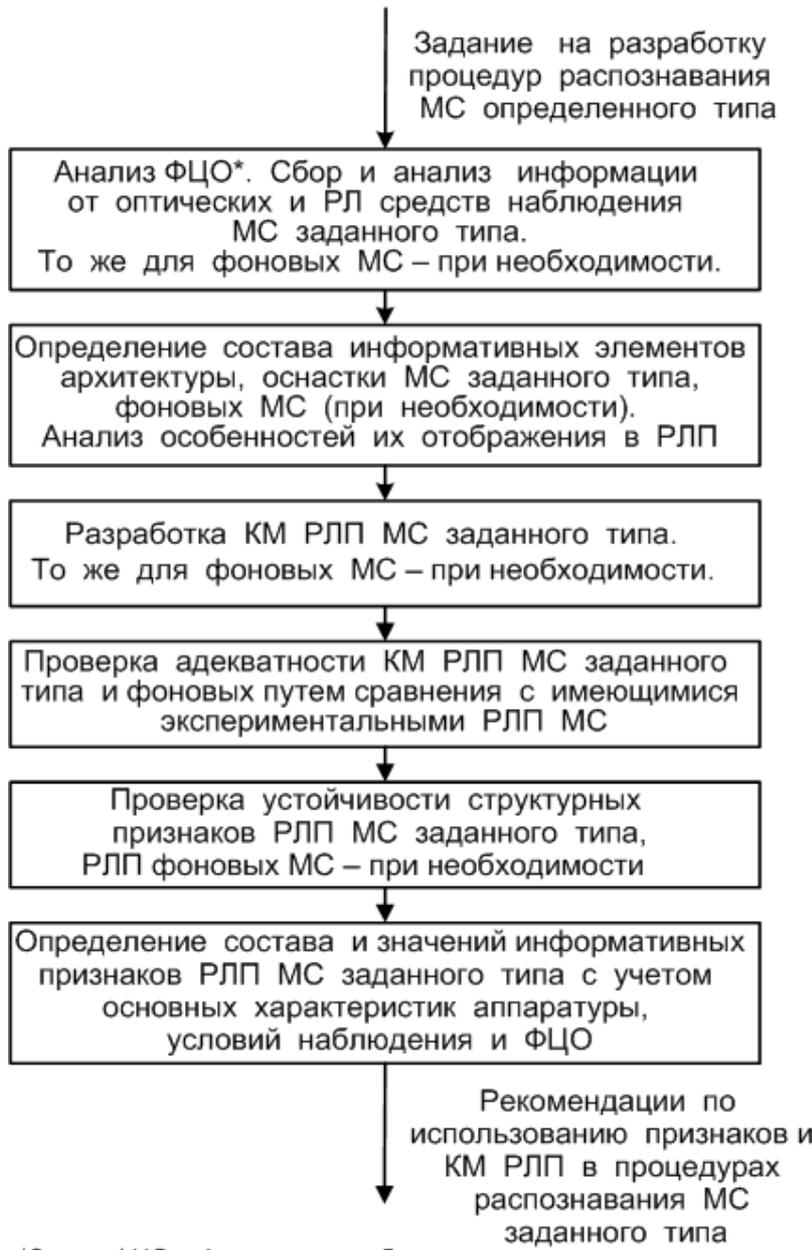
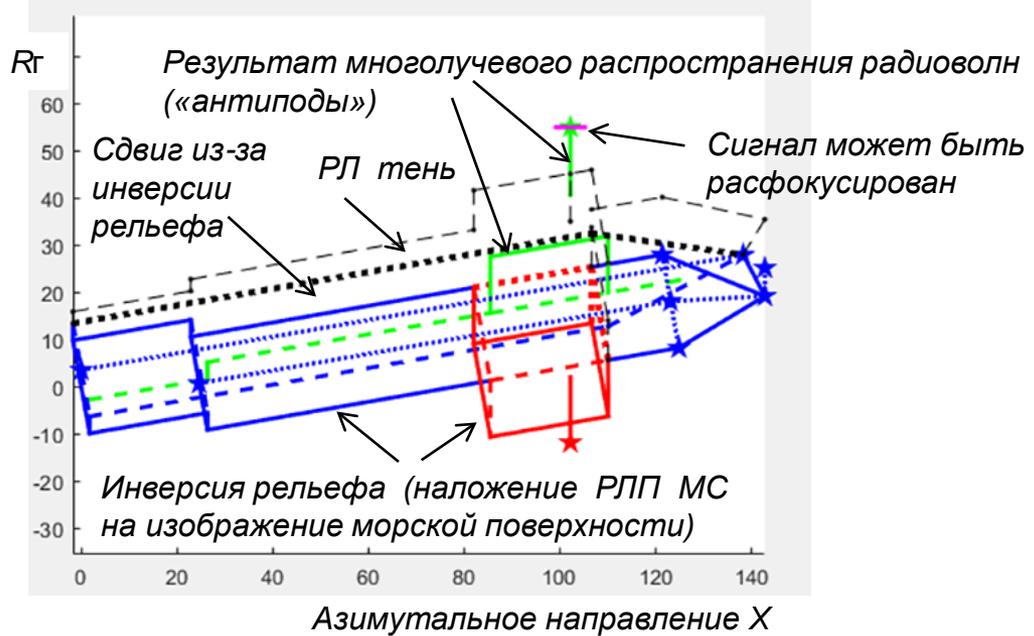
$$\theta_{МС} = 0 \text{ град}$$



ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ РЛ ПОРТРЕТОВ МС ОТ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ. РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ КОНТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ РЛП МС

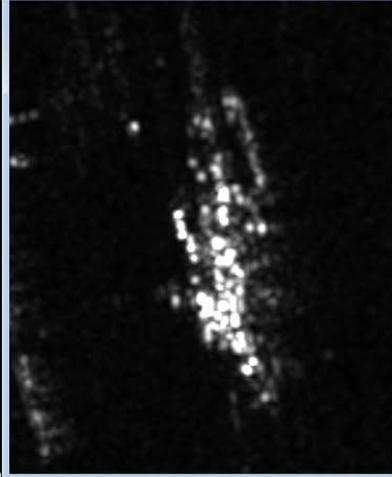
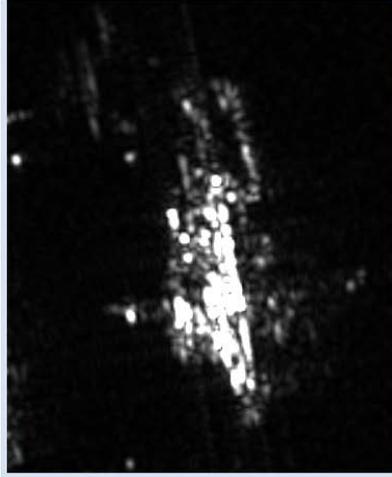
6

1. Система координат «азимутальное направление X – горизонтальная дальность Rr ».
2. Инверсия рельефа отражающей поверхности МС.
3. **Высокая вероятность:** образования ДЦО; формирования «антиподов» и азимутальных неоднозначностей; снижения азимутального разрешения («расфокусирования») при отображении малоразмерных неподвижных сложных отражателей и движущихся объектов (или элементов архитектуры МС); изменения поляризации сигнала при отражении от некоторых элементов архитектуры МС.



*Здесь ФЦО – фоноцелевая обстановка

ПРИМЕР СБОРА И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ ОТ ОПТИЧЕСКИХ И РЛ (КРСА ТИПА TERRASAR-X) СРЕДСТВ НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КМ РЛП КАТЕРА И ФОНОВОГО МС



Многоцелевой катер типа Хьючи (Япония). 5 ед. сданы в эксплуатацию с 2002 по 2008 гг. $L_{МС}=65$ м; $B_{МС}=12$ м.

Используется:

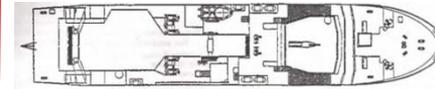
- для перевозки грузов;
 - в качестве буксировщика.
- Требуется отличать от рыболовных траулеров, аналогичных СРТМ типа «Невельск»:

Снимок ОЭ камерой GeoEye-1; $\Delta X, \Delta R_{Г} \sim 0,5$ м

$\gamma_{п} = 37,9$ град,
 $\Delta X, \Delta R_{Г} \sim 2$ м

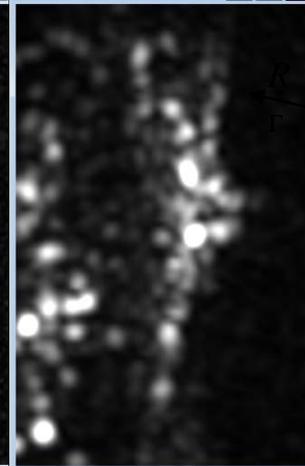


$\gamma_{п} = 50,9$ град,
 $\Delta X, \Delta R_{Г} \sim 1,5$ м



AMAKUSA

4/2008*, Hachiro Nakai / 135:131



$\gamma_{п} = 42,9$ град;

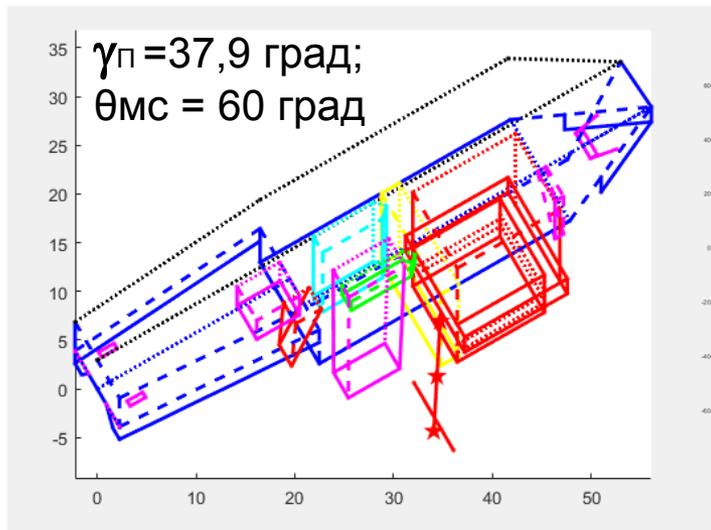
$\Delta X, \Delta R_{Г} \sim 1,7$ м | $\Delta X, \Delta R_{Г} \sim 3,5$ м



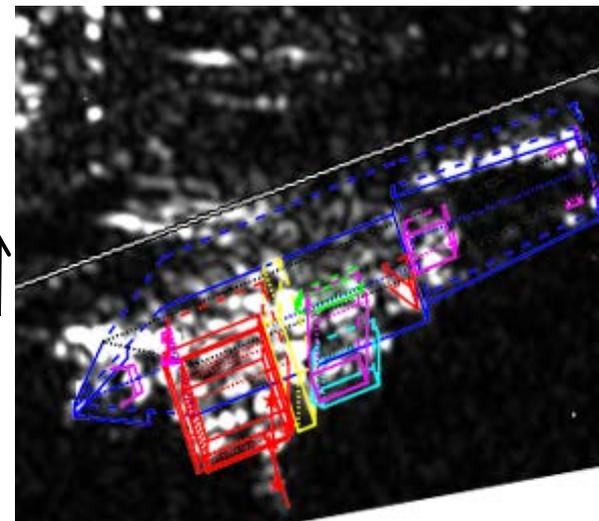
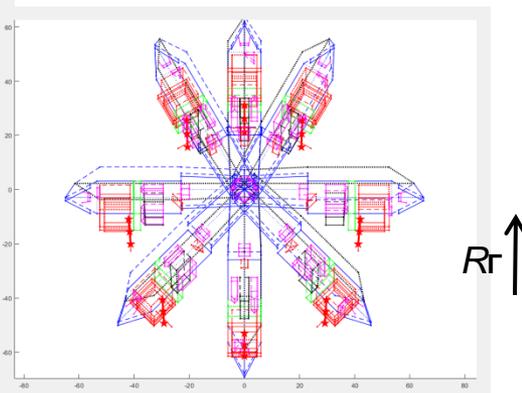
Фото из Интернета

8

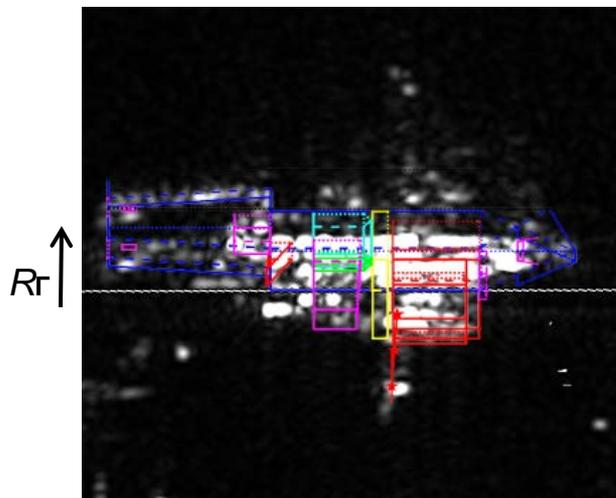
ПРИМЕР РЕЗУЛЬТАТА РАЗРАБОТКИ И ВЕРИФИКАЦИИ КОНТУРНОЙ МОДЕЛИ РЛП КАТЕРА. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЛ ПОРТРЕТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПРОМЕЖУТОЧНОМ РАКУРСЕ, В РЕЖИМЕ С НИЗКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ



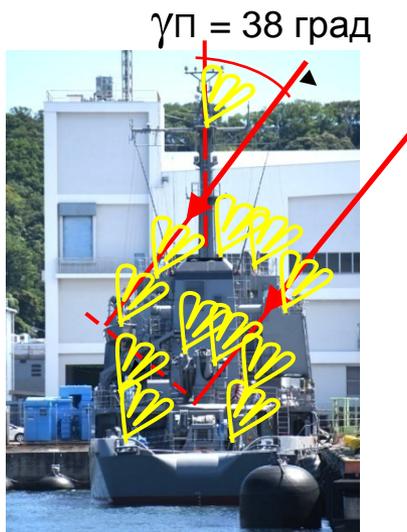
Верификация



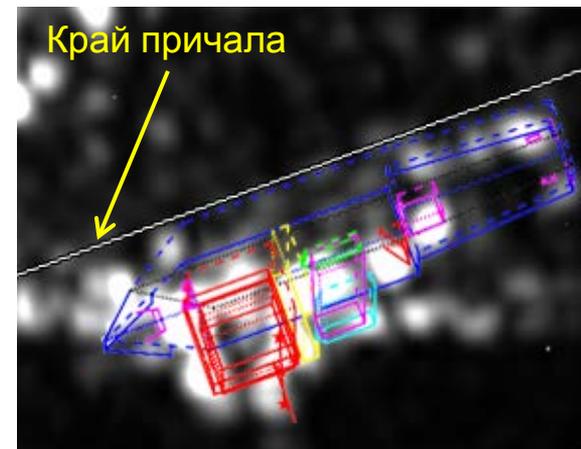
$\Delta X, \Delta Rr \sim 1,7$ м; $\gamma_{п} = 42,9$ град



$\gamma_{п} = 37,9$ град, $\Delta X, \Delta Rr \sim 1,5$ м



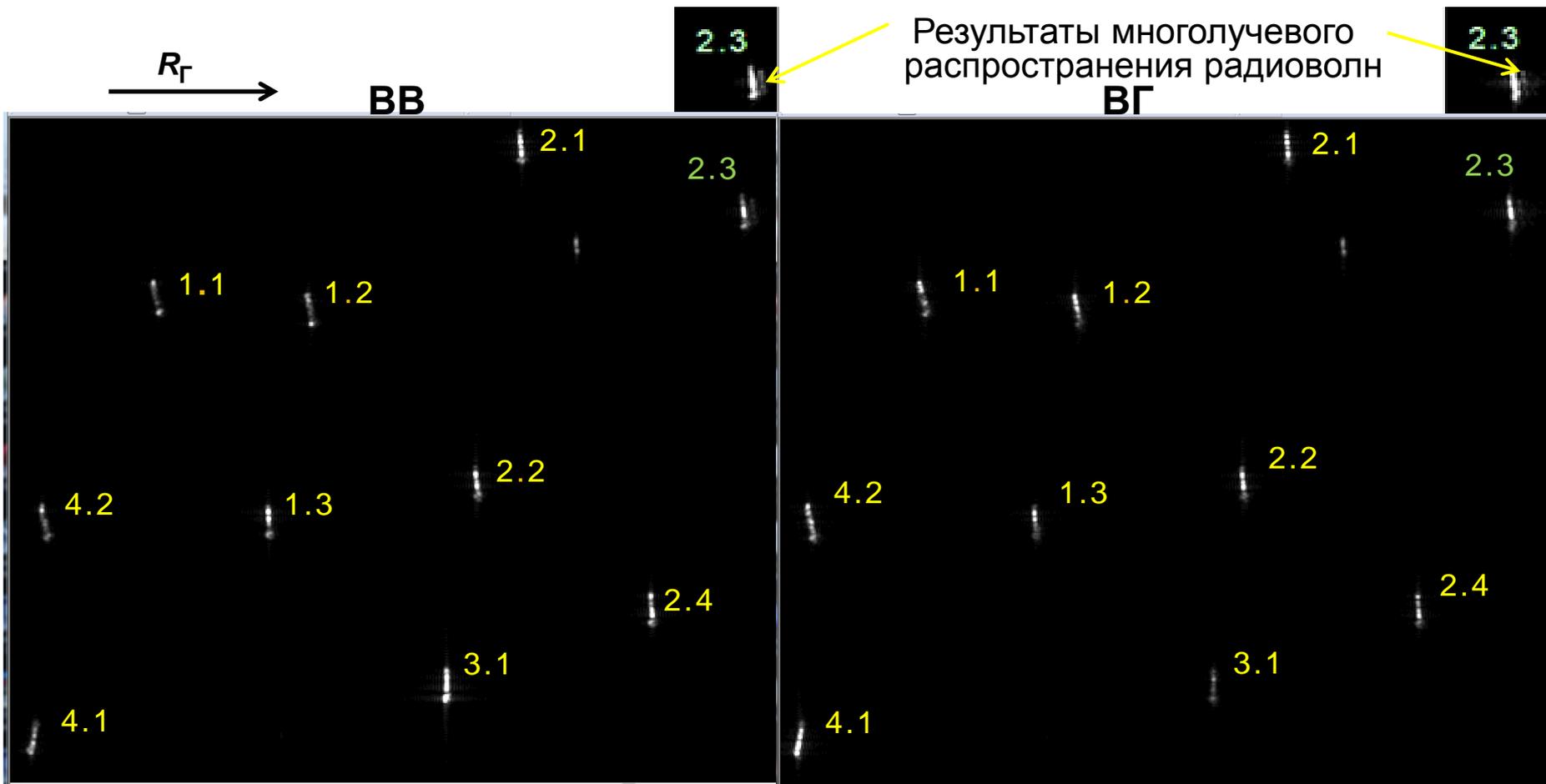
Катер. Вид сзади.
(заимствовано из Интернета)



$\Delta X, \Delta Rr \sim 3,5$ м; $\gamma_{п} = 42,9$ град

9

**ФРАГМЕНТ АМПЛИТУДНОГО РЛ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЯКОРНОЙ
СТОЯНКИ МОРСКИХ СУДОВ. ПОЛУЧЕНО ОТ КРСА SENTINEL-1A
($\lambda=5,5$ см) ПРИ ПРИЕМЕ РЛ СИГНАЛА В ДВУХ ПОЛЯРИЗАЦИЯХ.**



Результаты многолучевого
распространения радиоволн

ВГ

$\Delta X, \Delta R_r \sim 20\text{м} \times 20\text{м}$; $\gamma_p \sim 30\text{--}34$ град. Морские суда на якорной стоянке. Считается, что в см диапазоне радиоволн поляризация отраженного сигнала имеет статистический характер. Можно выделить РЛП МС с сохранением поляризации при отражении только от надстройки (номера с первой цифрой «1»), с переходом $\sim 0,5$ мощности на горизонтальную поляризацию во всем контуре РЛП («2»), практически без изменения поляризации при отражении сигнала («3»); с существ. изменением поляризации на всем РЛП («4»).

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм построения и применения разноракурсных контурных моделей азимутально-дальностных РЛ портретов МС задаваемых типов по информации в видимом оптическом диапазоне с последующей верификацией путем сравнения с имеющимися экспериментальными РЛП МС и выдачей рекомендаций по использованию структурных признаков при распознавании типа МС по его РЛП.

Масштабирование контурной модели с совмещением с экспериментальным РЛП катера, полученным при по его наиболее «ярким» элементам (изображениям надстройки, напалубной оснастки) позволил повысить вероятность выделения слабоконтрастного изображения носовой части, правильно интерпретировать элементы антипода, оценить изменение состава признаков РЛП с изменением азимутальной ориентации МС.

Модель, прошедшая верификацию сравнением с экспериментальным РЛП МС, полученным при боковом ракурсе и угле падения радиоволн $\gamma_p \approx 38$ град в режиме наблюдения с высокой разрешающей способностью, существенно упростила интерпретацию РЛ портретов катера, полученных при существенно большем значении угла γ_p , при промежуточном ракурсе, а также при понижении разрешающей способности до $\sim 3,5$ м.

Приведены примеры изменения поляризации РЛ сигналов в контуре РЛП при отражении от различных элементов архитектуры МС.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !