

О концентрических структурах на спутниковых изображениях в местах впадения рек в море

Лаврова О.Ю. ¹, Серебряный А.Н. (^{2,3})

(1) Институт космических исследований РАН

(2) Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

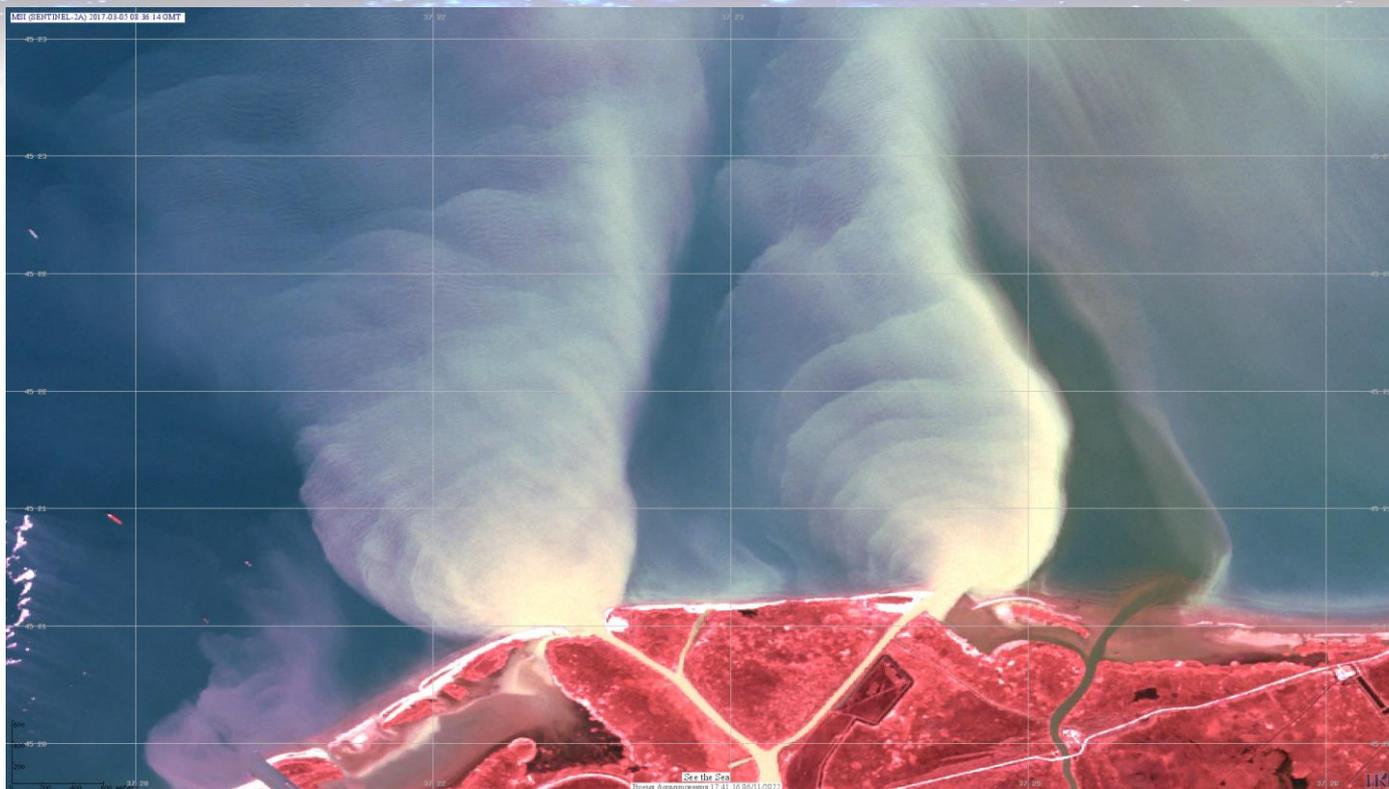
(3) Акустический институт им. акад. Н.Н. Андреева

Введение

С появлением возможности получать космически изображения с высоким разрешением исследователи прибрежной зоны стали отмечать хорошо видимые концентрические структуры в местах впадения в море устьев рек. Возникает соблазн связывать их появление с внутренними волнами, генерируемыми втекающей в море струей речной воды. Есть работы поддерживающие эту точку зрения, но, по нашему мнению, они недостаточно убедительны.

Доклад преследует своей целью разобраться в происхождении этих «концентрических структур».

Концентрические структуры в приустьевой зоне реки Кубань (Азовское море)



Дельта реки Кубань состоит из нескольких рукавов.

В приустьевой зоне глубины от 1-2 м до 5-10м.

На изображении MSI Sentinel-2A от 5 марта 2017 г. концентрические структуры хорошо видны на выносах из двух рукавов.

Концентрические структуры проявляются на изображении видимого диапазона на расстоянии до 6 км от устья.

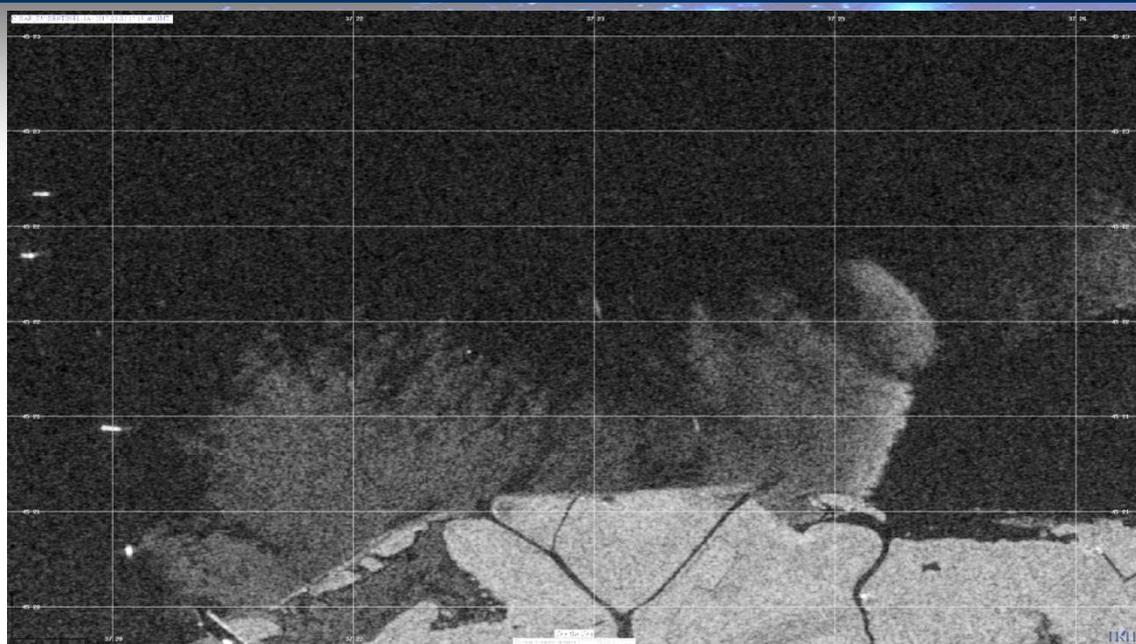
Расстояние между полуокружностями составляет от 150 до более 400 м

Различие в проявлении концентрических структур на видимых и радиолокационных изображениях

Первое, на что хочется обратить внимание, – это присутствие «кругов» исключительно на спутниковых изображениях видимого диапазона.

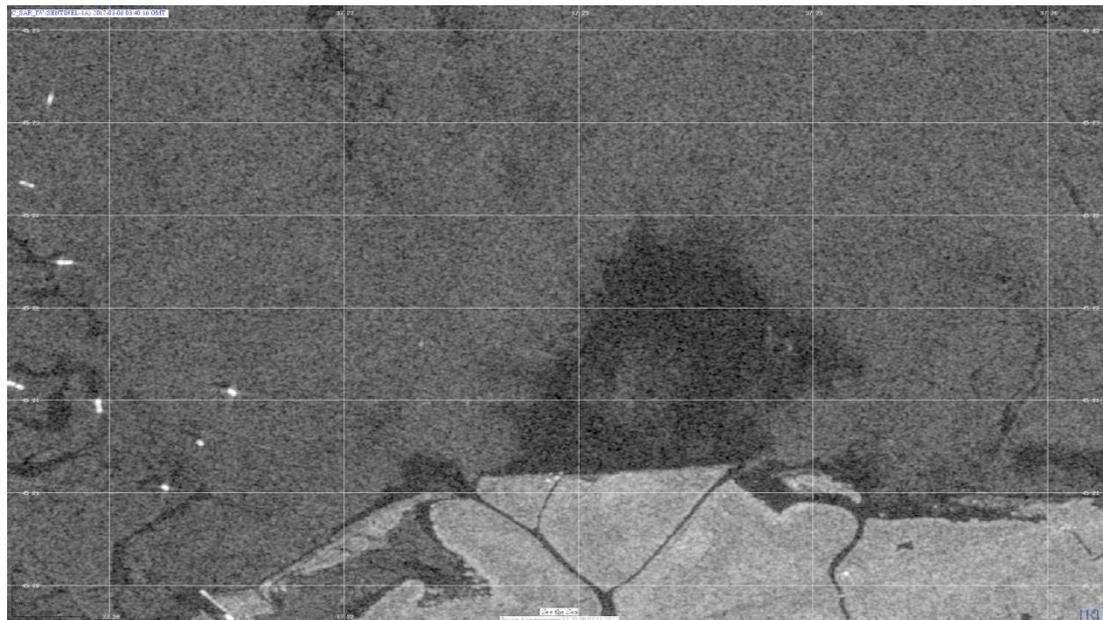
В то же время радиолокационные изображения морской поверхности не выявляют их присутствия.

Квазисинхронные радиолокационные изображения



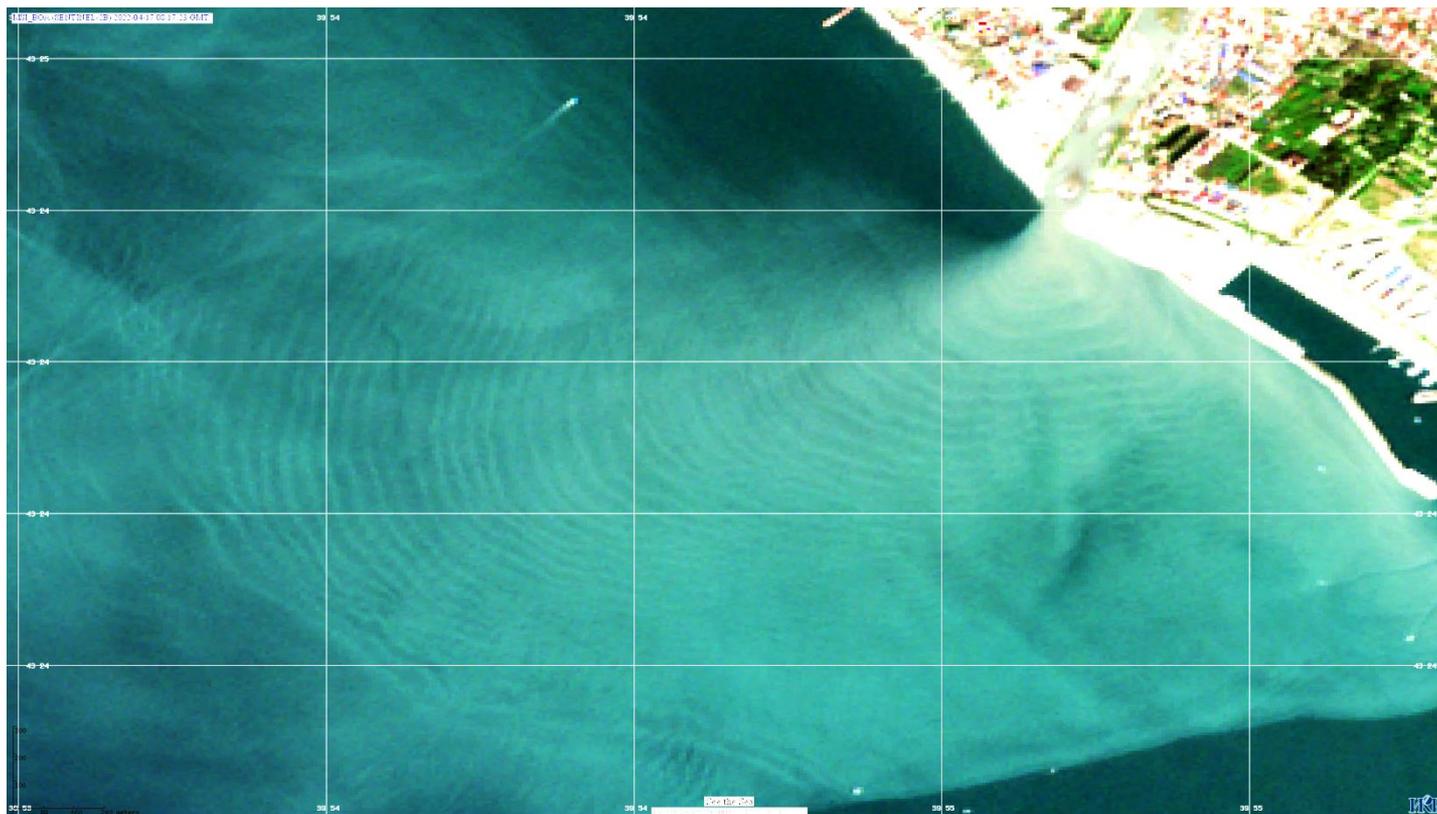
Радиолокационные изображения приустьевой зоны р. Кубань в близкие к оптической съемке дни. Проявлений концентрических структур нет

Радиолокационное изображение SAR-C Sentinel-1 A от 2 марта 2017 г.



Радиолокационное изображение SAR-C Sentinel-1 A от 6 марта 2017 г.

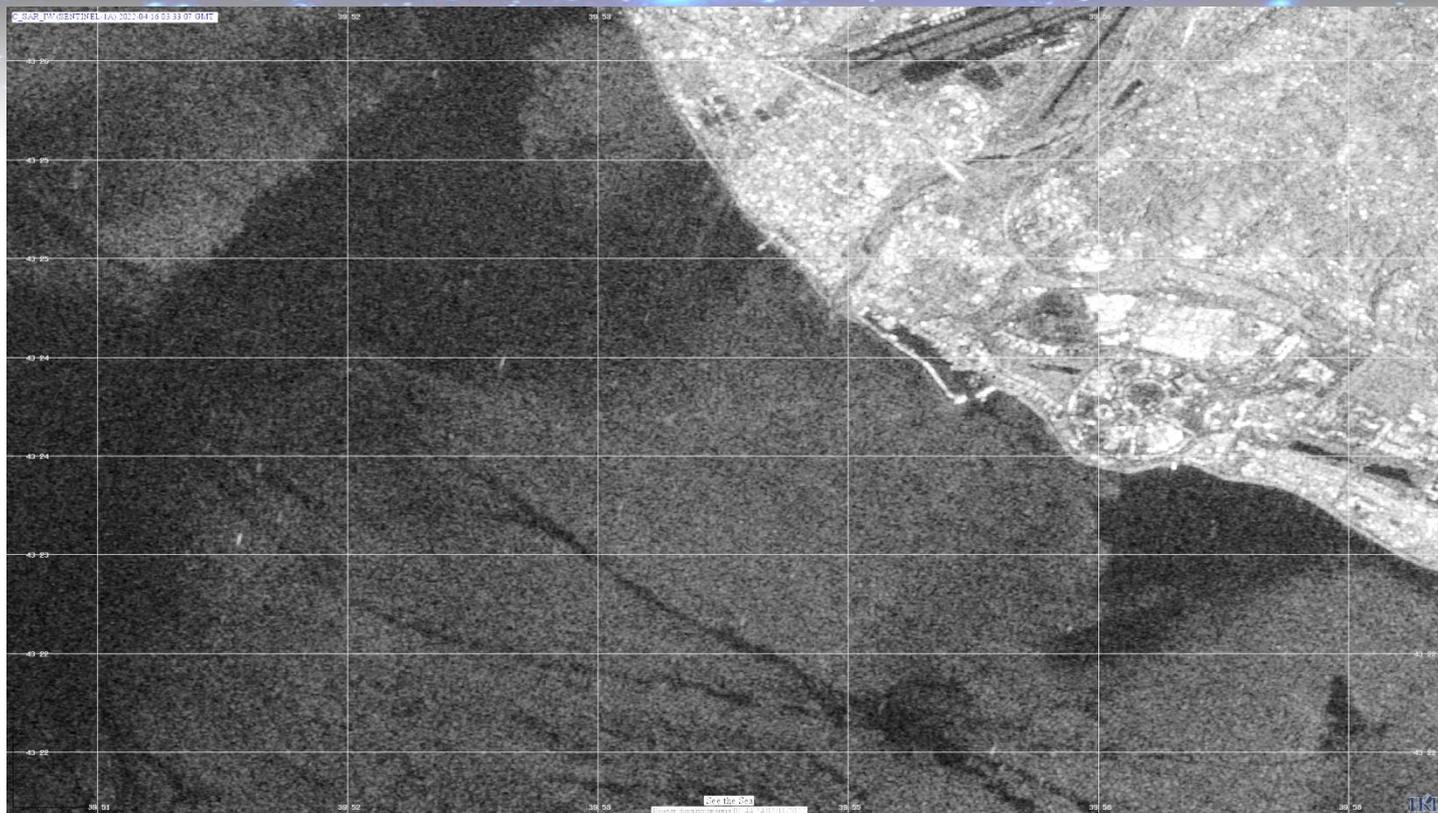
Концентрические структуры в приустьевой зоне реки Мзымта (Черное море)



На изображении MSI Sentinel-2B от 17 апреля 2022 г. хорошо видны концентрические структуры. Они проявляются на изображении видимого диапазона на расстоянии до 2,5 км от устья.

Расстояние между полуокружностями составляет от 40 до 65 м

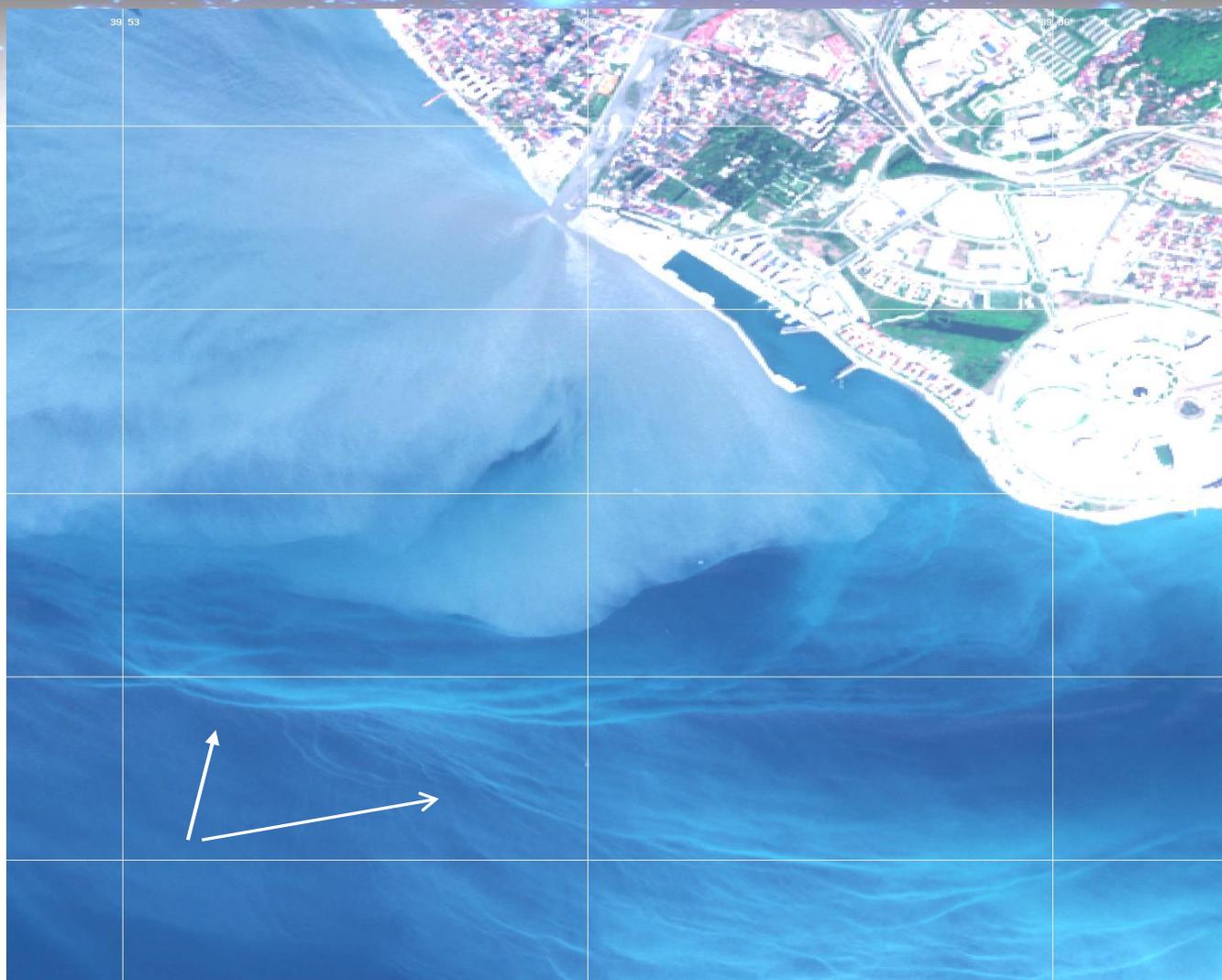
Квазисинхронное радиолокационное изображение



Радиолокационное изображение SAR-C
Sentinel-1A приустьевой зоны р. Мзымта от
16 апреля 2022 г.

Проявлений концентрических структур нет

Характерные проявления внутренних волн, вызванные движущимся фронтом распресненных вод



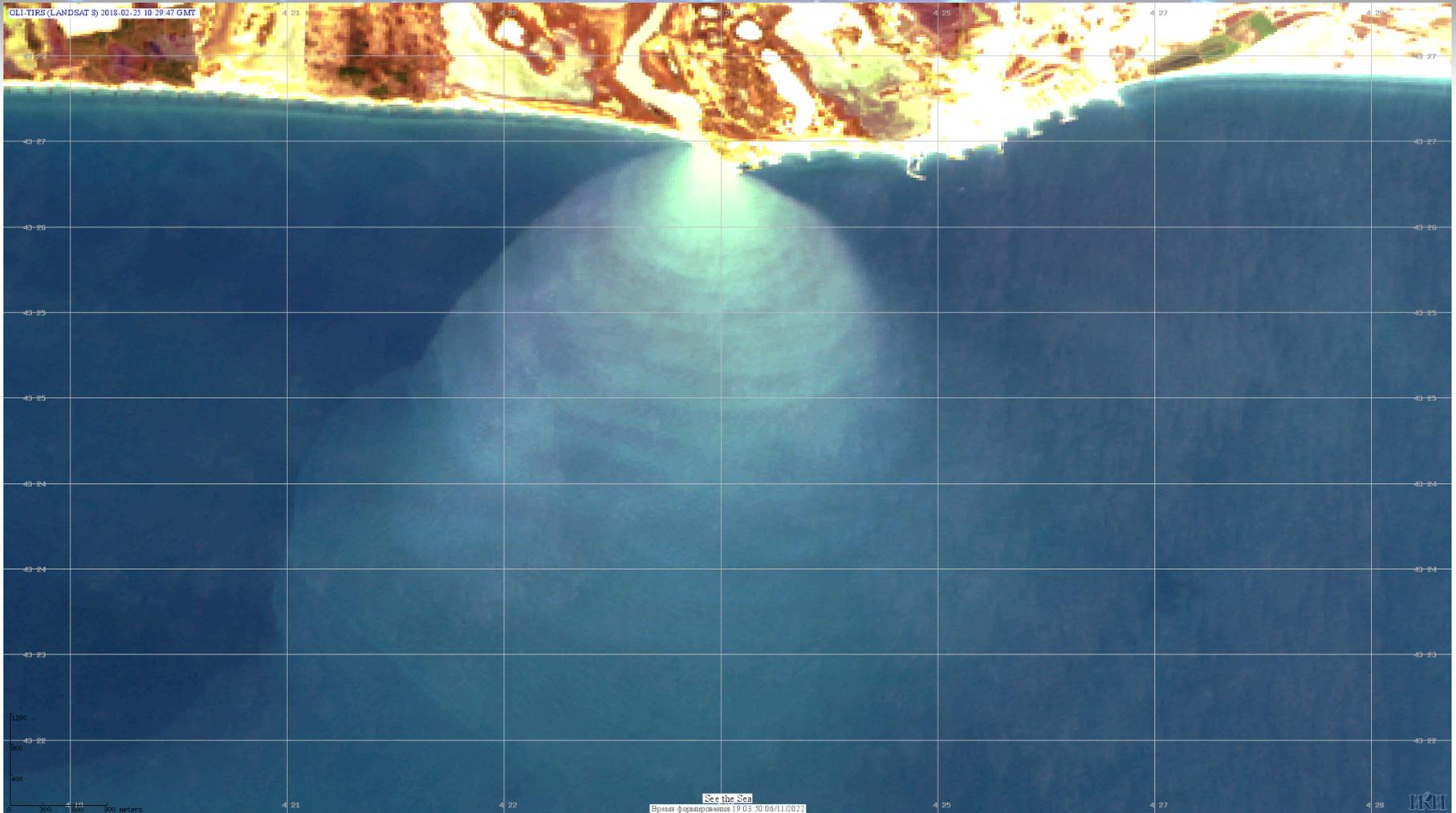
MSI Sentinel 2A изображение приустьевой зоны р. Мзымта от 25 апреля 2022г.
Стрелки указывают на поверхностные проявления внутренних волн

Характерные проявления внутренних волн, вызванные движущимся фронтом распресненных вод



Поверхностные проявления многочисленных пакетов внутренних волн на границах плюмов рек Псоу и Хашупсе. Стрелки указывают на часть из них. Изображение MSI Sentinel-2A от 25 апреля 2022 г.

Концентрические структуры в приустьевой зоне реки Малая Рона (Лионский залив Средиземного моря)



На изображении OLI Landsat-8 от 25 февраля 2018 г. хорошо видны концентрические структуры. Они проявляются на изображении видимого диапазона на расстоянии до 4,5 км от устья.

Расстояние между полуокружностями составляет от 350 до 450 м

Концентрические структуры в приустьевой зоне реки Натанеби (Черное море)



Изображение MSI Sentinel-2° от 21 марта 2016

Изображение OLI Landsat-8 абхазского побережья от 10.09.2017. Виден шлейф распресненных вод от Кодора вплоть до м. Сухумский



Красными рамками выделены области моря с хорошо выраженными пакетами внутренних волн(II, III) и круговых структур (I)

Фрагмент II предыдущего изображения, на котором видны цуги внутренних волн, порожденные плюмом Кодора (движение волн на с-з) и фронтом (движение волн к берегу)



В начале шлейфа наблюдались два цуга внутренних волн, расположенных почти перпендикулярно друг к другу. Один цуг из 5-6 волн находился в самом шлейфе мутных распресненных волн и двигался как шлейф на северо-запад. Фронт головной волны этого цуга при взаимодействии с границей шлейфа, обращенного к берегу, сгенерировал цуг из 10 мелкомасштабных внутренних волн, распространяющихся к берегу на восток. Головная волна на расстоянии 415 м от берега и имела длину 75 м. Фронт волн при этом имел выпуклую форму в сторону берега и простирался на 2,6 км. Длины остальных волн в цуге постепенно уменьшались до 50-30 м.

Фрагмент I исходного изображения от 10.09.2017, на котором видны поверхностные проявления концентрических структур в местах впадения реки Кодор в море



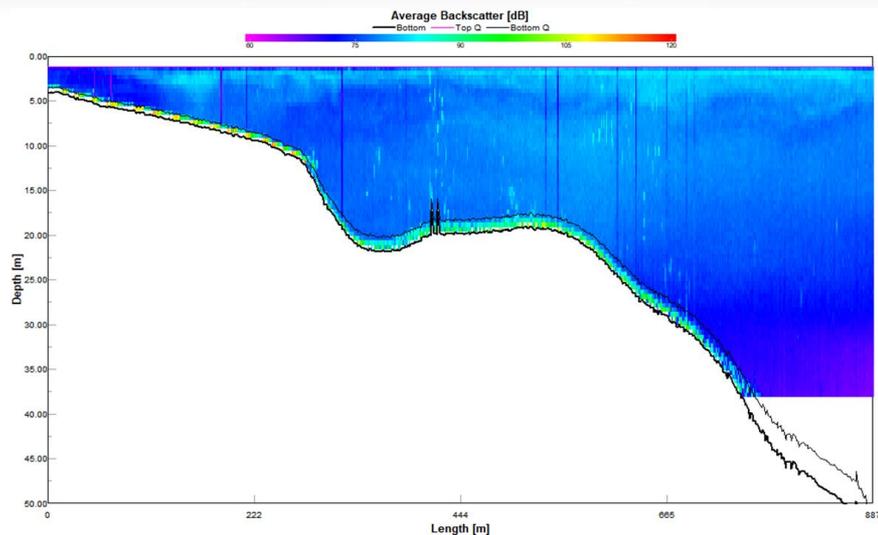
Река Кодор впадает в море двумя рукавами. Правый рукав несет основной поток реки, а левый – уменьшенный. От правого потока образуются более интенсивные концентрические круги. Весь ареал поля кругов распространяется на 1,45 км в море. Количество кругов около 30. Расстояния между кругами постепенно уменьшаются от точки генерации в сторону открытого моря от 114 м до 58 м.

Сравнение оптических изображений круговых структур с изображениями внутренних волн

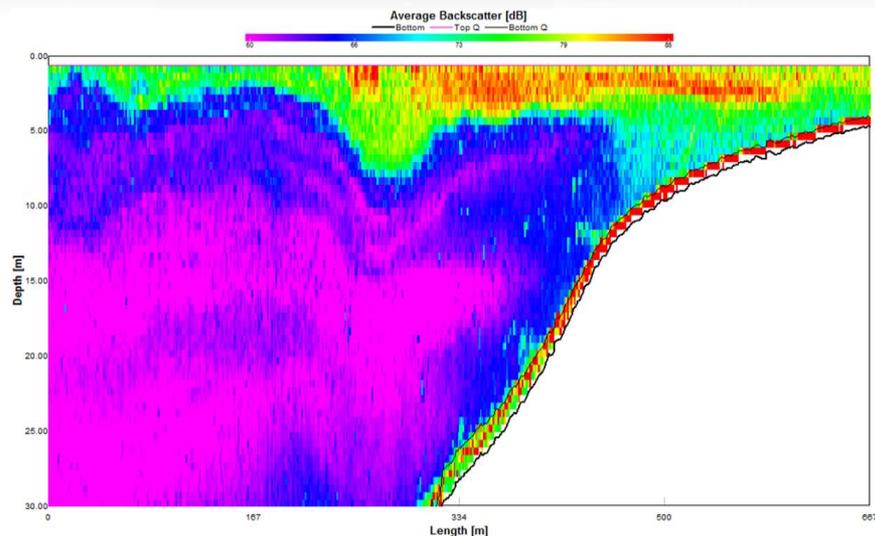


1. Для круговых структур характерно более тонкоструктурное изображение, чем для внутренних волн.
2. Количество «волн» в концентрических структурах гораздо больше количества внутренних волн в цугах.
3. Концентрические структуры привязаны к устью рек и распространяются от берега. Для внутренних волн возможны различные направления распространения, что зависит от механизмов их генерации.

Примеры внутренних волн, измеренных на сечениях в море, ориентированных по нормали к берегу поблизости от устья реки Кодор



Измерения ADCP в октябре 2015 г.
Параметры волн: высота 2-3 м; длина 200 м



Измерения ADCP в июне 2021 г.
Параметры волн: высота 3-6 м; длина 200 м;
орбитальная скорость (вертикальная составляющая) 0,2 м/с

Заключение

По нашим представлениям концентрические структуры в море у устьев рек скорее всего представляют собой проявления поверхностных волн, а не внутренних.

Напор вытекающих в море вод реки образуют в море у устья область повышенного уровня воды, что и способствует генерации расходящихся круговых поверхностных волн.

Благодарности

Работа выполнена в рамках и при поддержке государственного задания по теме № FMWE-2021-0010

Обработка и анализ спутниковых данных проводились с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-мониторинг», развитие которой осуществляется в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).