ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ШЕЛЬФА СПУТНИКОВЫМИ И ПОЛИГОННЫМИ СРЕДСТВАМИ

В.А.Мироненко, С.В.Станичный

Морской гидрофизический институт НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

За последнее десятилетие данные дистанционного зондирования (ДДЗ) стали неотъемлемой частью наблюдательных систем состояния морских акваторий и земной поверхности. Основное преимущество ДДЗ их обзорность, т.е. возможность за короткий промежуток времени (время пролета спутника над исследуемым районом) получить данные о пространственном распределении интересующих параметров на обширных территориях.

Современные приборы, установленные на различных спутниках позволяют получать информацию о состоянии подстилающей поверхности в различных диапазонах электромагнитных волн - СВЧ, инфракрасном и оптическом, причем, зондирование в СВЧ диапазоне может осуществляться, как пассивном режиме (измерение собственного излучения поверхности), так и в активном (радиолокационные системы).

Процессы регистрируемые спутниковыми датчиками, определяющие состояние зоны сопряжения суши и моря (ЗССМ) имеют существенно различные временные масштабы: от единиц часов для, например, изменения гидрометеорологических условий, локальных загрязнений, до нескольких лет для эрозии берегов, деградации растительного покрова. В широком диапазоне изменяются и характерные пространственные масштабы: от десятков метров (для изменения береговой линии, зон подтопления, локальных загрязнений) до нескольких десятков километров (для мезомасштабных динамических образований, определяющих обменные процессы в шельфовой зоне).

Такая вариабельность явлений требует привлечения различных спутниковых данных для контроля состояния ЗССМ. Необходимым представляется регулярный прием и архивация данных сканера AVHRR спутников серии NOAA, оптического сканера SeaWiFS спутника Seastar, имеющих пространственное разрешение порядка 1 км и позволяющими наблюдать акваторию Черного моря до 6 раз за сутки (сканер AVHRR). Информация с этих датчиков позволяет определять температуру и оптико-биологические характеристики морской среды и суши (индексы вегетации) на регулярной основе, выделять динамические образования в поверхностном слое Черного моря и вычислять их пространственные и кинематические характеристики, изучать синоптическую сезонную и межгодовую изменчивость.

Другим источником информации могут являться данные сканеров высокого (10-30м) МСУ-Э, МСУ-В, LANDSAT, SPOT и среднего разрешения (100-300м) МСУ-С, МСУ-СК. Информация с этих сканеров может быть получена по предварительному заказу с периодичностью 3-20 дней по выбранным районам.

Спутниковые данные высокого и среднего разрешения позволяют выделять локальные источники загрязнений, осуществлять мониторинг изменения береговой линии, приустьевых зон и т.д.

Предметом настоящей работы была попытка оценить возможности спутниковых измерений для определения загрязненности прибрежной части Черного моря. При этом исходили из того факта, что в прибрежной части основным источником загрязнений является, обычно, сточные воды. Изменения параметров водной среды, вызываемые сточными водами можно условно разделить на три основные группы:

- изменение химического состава,
- изменение физических характеристик водной среды,

- изменение гидродинамических характеристик.

Приведенная классификация достаточно условна, так как на практике сточные воды оказывают комплексное влияние на весь спектр параметров водной среды.

Рассмотрим более подробно вызванные стоками возмущения параметров морских вод, определяющих сигналы дистанционных датчиков. Представляя собой смесь растворенных и взвешенных веществ, сточные воды изменяют собственно химический состав морской воды, изменяя концентрацию растворенных веществ, как минерального, так и органического происхождения. Кроме растворенных веществ сточные воды несут взвеси, которые могут быть, как активными так и пассивными примесями (т.е. иметь плотность близкую к воде и двигаться вместе с ее частицами или же всплывать или осаждаться, меняться под воздействием среды и т.д). Частным случаем всплывающих примесей могут являться поверхностно-активные вещества образующие пленки на поверхности и изменяющие характеристики взаимодействия на границе раздела океан-атмосфера (теплообмен, коэффициент трения, излучательную способность, коэффициент поверхностного натяжения). Присутствие взвесей в воде вызывает изменение оптических свойств - поглощения и рассеяния электромагнитных волн. В меньшей степени на оптические характеристики влияют растворенные вещества. Еще одним из параметров подверженных влиянию стоков может быть температура воды. Отличная от окружающих вод плотность стоков может вызывать потоки плавучести и возмущать локальные гидродинамические характеристики. Отметим, что различие в плотности может вызываться, как температурными, так и халинными факторами.

И наконец, стоки передают собственную кинетическую энергию морским водам и также изменяют локальные динамические характеристики.

Кроме прямого влияния на водную среду сточные воды могут вызывать различные изменения в экосистеме приводя к депрессии или бурному развитию микроорганизмов.

Таким образом, спектр воздействия стоков на характеристики воды достаточно широк и может прямым или косвенным способом оказывать влияние на параметры морской среды, регистрируемые обычно дистанционными датчиками в различных диапазонах спектра.

Рассмотрим на примере спутниковых изображений влияние различных характеристик морской воды на формирование сигналов дистанционных датчиков.

Основной параметр определяющий величину сигнала от морской поверхности в СВЧ диапазоне, где длина волны сопоставима с характерными размерами капиллярных волн - шероховатость морской поверхности (это справедливо, как для пассивного зондирования - радиометрии, когда излучательная способность поверхности определяется геометрическими характеристиками границы раздела, так и для радиолокации, когда сечение обратного рассеяния зависит от локальных квазипериодических неоднородностей поверхности.

Отметим, что шероховатость поверхности в первую очередь определяется скоростью ветра, а присутствие пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ) только изменяет типичные характеристики шероховатости. Характерный пример изменения радиолокационного сигнала в различных ветровых условиях показан на рис. 1 - изображение РЛС БО "Космос" 1500, демонстрирующее влияние шероховатости на величину принимаемого сигнала (в области ветровой тени от Крымских гор на снимке более темная область на юго-восток от Крыма).

Таким образом скорость ветра во многом определяет наблюдаемость ПАВ на поверхности, внося ряд ограничений - при слабых ветрах контраст ПАВ-чистая поверхность мал, а при сильных ветрах пленки ПАВ разрушаются.

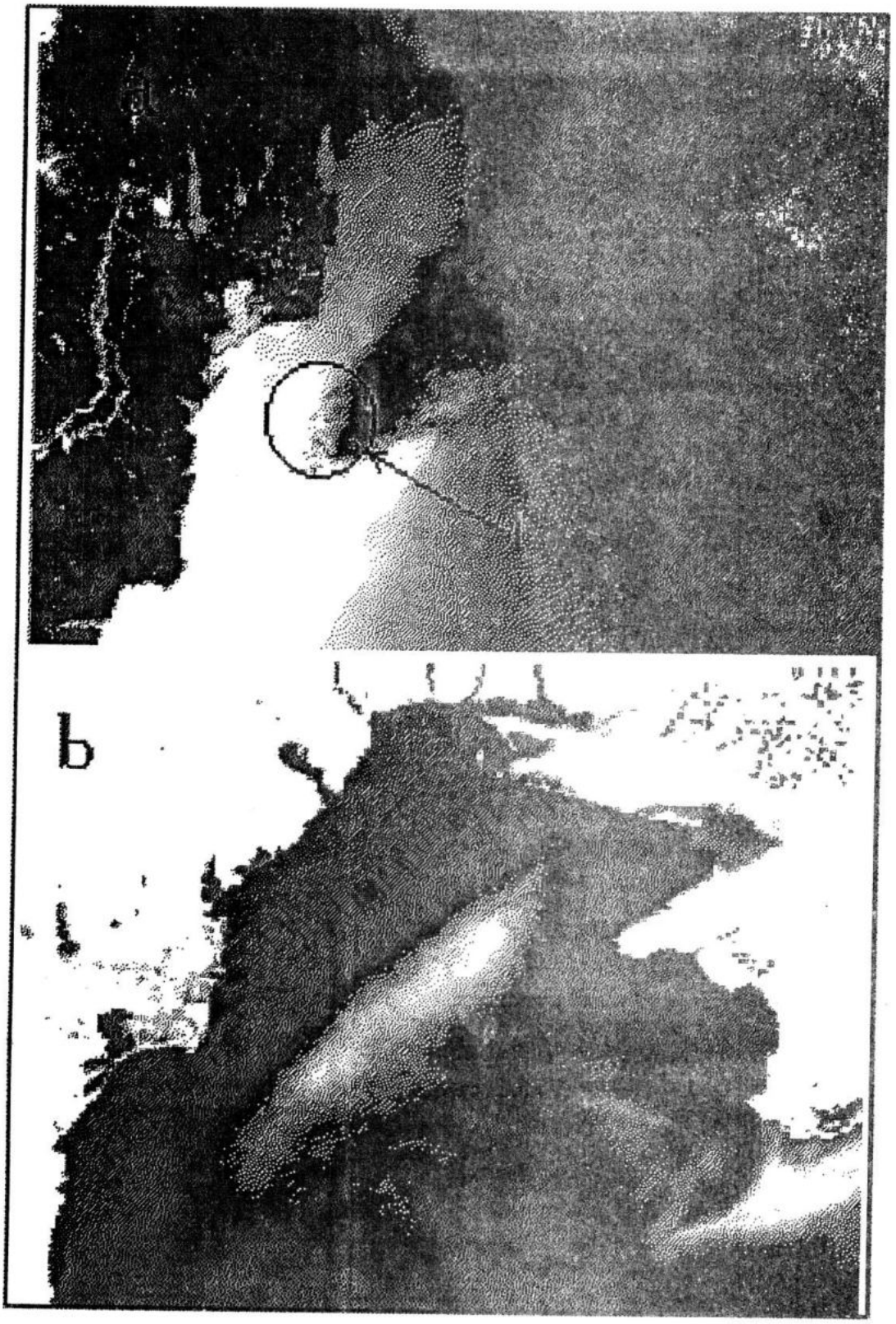

Рис. 1. Изображение северо-западной части Черного моря в видимом (a) и ИК (b) диапазоне

Ряд особенностей проявления неоднородностей шероховатости поверхности существует и при интерпретации изображений оптического диапазона. В этом случае важную роль играют условия освещенности исследуемого участка и взаимная геометрия наблюдения и положения Солнца. Так менее шероховатый участок в зоне солнечного блика будет иметь большую яркость в силу большего числа локальных элементов отражающих прямое солнечное излучение.

Вне солнечного блика будет наблюдаться обратная картина - менее шероховатая поверхность будет и менее яркой в силу меньшего числа наклонных локальных площадок отражающих солнечное излучение. Данные процессы хорошо иллюстрирует рис. 1 - трансформированное в проекцию Меркатора изображение Северо-западной части Черного моря, полученное в 1-м (a) и 4-м (b) каналах прибора AVHRR (NOAA-11). Демонстрирует влияние и принимаемый сигнал шероховатости поверхности (в данном случае за счет изменения скорости ветра) в различных участках солнечного блика (на периферии менее шероховатая поверхность выглядит темнее ближе к центру блика светлее).

↑ - показана зона инверсии контраста.

На изображении в 4 канале штилевая зона имеет более высокую температуру (более светлая на снимке). Причиной этого является уменьшение генерации турбулентности в зонах меньшей шероховатости, что в свою очередь вызывает процессы вертикального перераспределения поступающего солнечного излучения и формирование, так называемого слоя суточного прогрева, разница температуры в котором может достигать 2-3 градусов Цельсия по сравнению с зонами с умеренным ветром. На рассмотренном изображении характеристики шероховатости определялись неоднородностью ветра.

Как уже упоминалось выше, проявление стоков может быть как прямым - через возмущение характеристик водной среды, так и косвенным - через изменение вторичных параметров вызванное изменением первичных характеристик (пример возникновения зоны суточного прогрева рис.1). Типичным случаем такого вторичного проявления являются случаи воздействия стоков на экосистему.

На рис.2 - Изображение в 1-м канале прибора AVHRR (NOAA-11) формируется рассеянием на фитопланктоне в поверхностном слое. Косвенное проявление выноса биогенов Дунаем вызывающих цветение фитопланктона. В этом случае стоки в конечном счете вызывают увеличение рассеяния в оптическом диапазоне. Однако стоки могут вызывать и обратный эффект, те приводить к депрессии микроорганизмов и уменьшать рассеяние.

Достаточно часты случаи проявления сточных вод за счет образования тумана над теплыми водами городского выпуска канализации. Для такого проявления необходимым условием является высокая влажность воздуха, например, наличие облачного фронта. Особенно часто в оптическом диапазоне стоки проявляются на фоне чистых вод за счет повышения концентрации веществ.

Важнейшим объектом шельфового мониторинга должны быть акватории, подверженные индустриальному воздействию (порты, нефтяные терминалы, зоны добычи нефти). На рис.3 в изображении 1-го канала AVHRR (NOAA-11) показано характерное распространение загрязнения ПАВ в районе порта города Одессы (снимки за 2 и 3 августа 1993 года).

Несомненно, приведенные результаты многих других исследований подтверждают уникальные возможности спутникового обнаружения и прослеживания поверхностных загрязнений и могут быть использованы для систем контроля качества вод. Однако, не следует забывать, что по крайней мере на сегодняшний день спутниковые данные дают только качественную картину загрязнений, в то время как важнейшей задачей являются попытки их оценить количественно. Действительно, в настоящее время по крайней мере в нашей стране едва ли не единственным способом очистки является

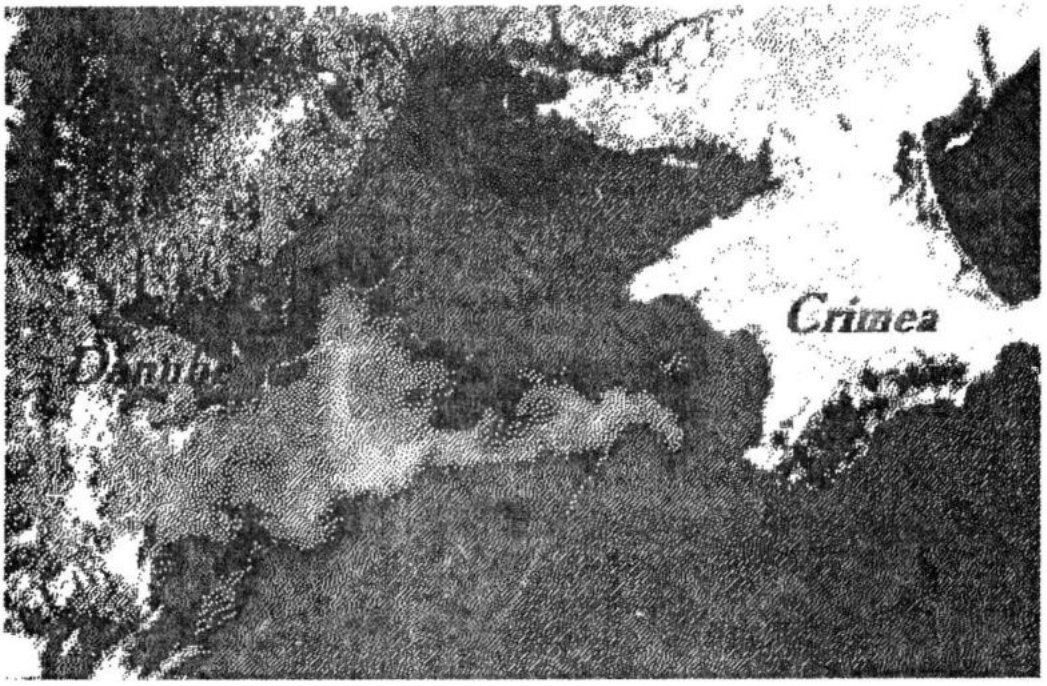

Рис.2. Цветение фитопланктона, вызванное выносом биогенов Дуная, AVHRR

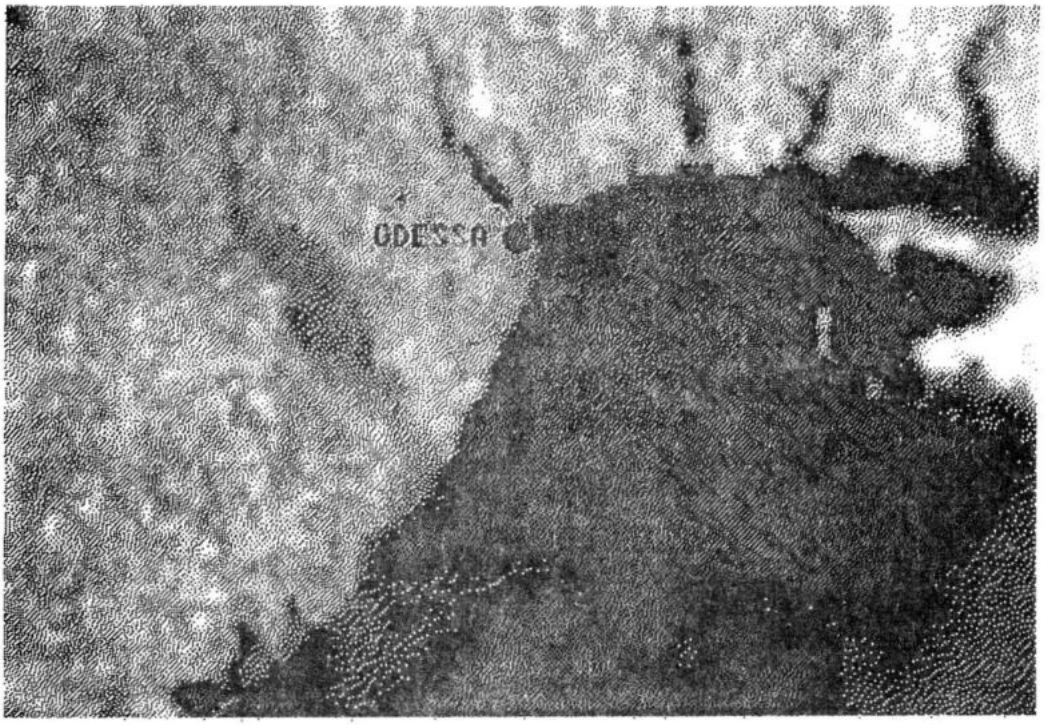

Рис.3. Снимок в 1 канале AVHRR загрязнений в районе Одессы.

естественное биологическое сомоочищение морской воды. Однако, существует тот опасный порог концентраций загрязнений, за которым такое самоочищение может уже и не произойти, что приведет к экологической катастрофе. Поэтому неотъемлемой частью общей задачи контроля вод является создание контрольного полигона контактных измерений для калибровок спутниковых измерений или на первом этапе хотя бы для проверки их достоверности.

В заключение приводим таблицу характеристик аппаратуры для контроля вод Черноморского бассейна.

Таблица

Характеристики аппаратуры, необходимой для экологического мониторинга Черного моря

Аппаратура	Тип	Полоса обзора, км	Разрешение, км	Носитель	Число пролетов р-на Черного моря, пролет/сутки
AVHRR	Сканер видимого и инфракрасного диапазона	2800	1	ИСЗ серии "NOAA"	2
SeaWIFS	Оптический сканер	2200	1	ИСЗ "Seastar"	2
МСУ-Э, МСУ-В	Сканеры высо-кого разрешения		0,01-0,03	"Океан-О"	2
МСУ-С, МСУ-СК	Сканеры среднего разрешения		0,1 - 0,3	"Сич-1"	2