

Спутниковый мониторинг побережья Азовского моря: реальные возможности и специфика

И.Е. Курбатова

*Институт водных проблем РАН
119991 Москва, ГСП-1, ул. Губкина, 3
E-mail: irenkurb@aqua.laser.ru*

Рассматриваются основные направления спутникового мониторинга Азовского моря, обусловленные спецификой гидрологических и геоморфологических условий его развития. Сформулированы основные задачи изучения побережья, акватории, дельтовых областей, для которых применение космической информации наиболее актуально и информативно. Показаны направления, для которых использование дистанционных данных пока еще ограничено. Рассматриваются примеры практической реализации мониторинга дельты Кубани для разных по водности периодов, а также отдельных участков акватории.

На акваториях и побережьях южных морей России в последние десятилетия сложилась острая экологическая ситуация, требующая для своего решения неотложной разработки и реализации государственной стратегии экологической безопасности. Цель стратегии – согласование экономических и экологических интересов природопользователей на международном, федеральном и региональном уровнях. Научное обоснование стратегии должно базироваться на результатах постоянно действующего комплексного экологического мониторинга, охватывающего все аспекты взаимодействия ключевых природных и антропогенных процессов на море и побережье. Регулярные наблюдения по комплексу параметров и их аналитическая научная обработка позволят своевременно выявлять негативные изменения, прогнозировать их возникновение и последствия воздействий, разрабатывать рекомендации оптимального природопользования. В настоящее время функционирование такого мониторинга и создание информационной базы, объединяющей и структурирующей полученные сведения, не представляется возможным, поскольку существующая сеть наземных и морских наблюдений не отвечает современным требованиям ни по охвату, ни по полноте и качеству измерений, а уже имеющаяся информация разобщена по различным организациям и ведомствам [1]. В такой ситуации существенно уменьшить информационный дефицит и систематизировать наблюдения позволяют материалы космической съемки. Постоянно совершенствуемая специальная аппаратура отечественных и зарубежных оперативных космических систем природно-ресурсного и океанографического назначения позволила существенно расширить спектр решаемых задач, повысить точность и достоверность результатов. Перечень таких задач состоит из двух частей: первая часть включает в себя контроль за традиционным набором объектов наблюдения, присущим любому морскому водоему, вторая часть - отражает индивидуальные (специфические) особенности изучаемого моря и различные подходы к наблюдению.

Изучение возможностей использования космической информации было проведено на примере Азовского моря – небольшого (площадью 38 тыс. км²) полузамкнутого мелководного водоема с уникальными природными условиями формирования. Фактически Азовское море представляет зону смешения пресных речных и черноморских вод *Гидрологическим и гидрохимическим* характеристикам моря присуща большая пространственно-временная изменчивость, обусловленная географическим расположением, влиянием водообмена с Черным морем и стоком основных рек – Дона и Кубани, составляющим около 12 % от объема моря, что является экстремальной величиной для морей [2]. Очевидно, что многолетние и сезонные изменения этих параметров приводят к заметным колебаниям уровня и объема моря, солености его вод. Основной вклад в приходную часть водного баланса вносят речной сток (41 %) и приток воды из Черного моря (41 %), а в расходную – сток воды в Черное море через Керченский пролив (60 %) и испарение (40 %). Средние значения межгодовых колебаний уровня могут достигать 37 см, наибольшее значение колебаний уровня составило 52 см (в 1952 г.) [3]. Среднее значение

сезонного хода уровня составляет 26 см. Относительно большой приток пресных речных вод – 28 км³/год (до зарегулирования Дона и Кубани составлявший более 40 км³/год) обуславливал пониженную *соленость* в акватории моря – в среднем 10.9, а в Таганрогском заливе – 6.2 промилле. После строительства Цимлянского и Краснодарского водохранилищ средняя соленость увеличилась соответственно до 12.3 и 7.5 промилле, что привело к быстрым и глубоким изменениям абиотических и биотических компонентов. Для вод Азовского моря характерна небольшая *прозрачность* от 1.5 до 3.5 м. Изменение прозрачности связано с речным стоком, волнением, наличием планктона, а небольшие глубины способствуют резкому уменьшению прозрачности моря из-за взмучивания донного ила даже при слабом волнении. В целом для всей акватории моря прозрачность увеличивается от Таганрогского залива (0.3 - 1.0 м) к Керченскому проливу (2.0-8.5 м) [3]. *Цвет моря* обусловлен содержанием в воде речных взвесей и степенью развития планктона и изменяется от желто-коричневого в устье Дона до голубовато-зеленого в районе Керченского пролива. В теплые сезоны года наблюдаются различные варианты этих оттенков.

Для мелководного Азовского моря характерно развитие опасных природных явлений – *сгонно-нагонных колебаний уровня*, возникающих под действием штормовых ветров. На величину этих колебаний влияют направление, сила и продолжительность действия ветра, ориентация береговой линии относительно господствующих ветров, уклон побережья. Размах колебаний может составлять от 2 м в Бердянске до 6 м в Таганроге [3]. Нагонные наводнения приводят к затоплению обширных участков побережья, наносят большой ущерб природе и хозяйству. При сгонах уменьшаются глубины в портах и судоходных каналах, обнажаются участки дна.

Береговая зона Азовского моря представлена аккумулятивными, абразионными и абразионно-оползевыми типами берегов, обширной много рукавной дельтой Кубани (площадью более 4300 км²) и небольшой дельтой Дона (площадью 540 км²). Современное состояние берегов характеризуется преобладанием абразионных процессов, поскольку в последние годы естественное развитие берегов значительно нарушается хозяйственными и рекреационными мероприятиями в бассейнах рек, их дельтах и на побережье. Наиболее динамичны берега восточного побережья со средней скоростью размыва 0.4-3.0 м/год (максимальная у г. Приморско-Ахтарска – до 6.0 м/год) [4]. Для береговой зоны моря характерны уникальные аккумулятивные формы – Арабатская стрелка, косы Долгая, Белосарайская, Петрушина, Ейская и ряд других, сложенных в основном ракушей, кварцевым песком и детритом. За последние десятилетия эти косы испытывают значительный размыв в связи с нарушением естественного режима питания наносами и изъятием песчано-ракушечного материала на строительные нужды. Аккумулятивный берег дельтовой равнины Кубани (протяженностью 150 км) характеризуют аккумулятивные процессы, здесь формируется обширная мелководная зона в виде серии береговых валов. Уникальные Кубанские лиманы, представляющие собой горько-соленые озера глубиной 2-2.5 м, постепенно мелеют и зарастают в результате изменений условий обводнения. [5]. На формирование дельты р. Дон в первую очередь влияет деятельность моря - интенсивные сгонно-нагонные колебания уровня, размах которых на взморье достигает 5.9 м, что приводит к меридиональному выравниванию морского края дельты [2].

Высокая динамичность природных и антропогеннообусловленных процессов, присущих Азовскому морю, определяет круг задач, которые можно решить с помощью космического мониторинга. Для контроля, слежения и оценки экологического состояния Азовского моря спектральная космическая информация может быть эффективно использована по следующим направлениям:

Для акватории моря:

- изучение влияния речного стока на взморье (по определению размеров и конфигураций областей смещения речных и морских вод различной степени мутности как косвенного показателя повышенного содержания взвесей, загрязненности; распресненности акватории);
- изучение многолетней и сезонной циркуляции прибрежных вод (в том числе и как фактора переноса загрязняющих веществ);
- определение границ распространения более прозрачных черноморских вод;

- выявление очагов нефтяных загрязнений акватории и контроль их распространения в результате техногенных аварий и катастроф;

- наблюдение за образованием зон мутности в процессе дноуглубительных работ на судоходных каналах;

- наблюдение за процессами появления и исчезновения ледяного покрова;

- выявление областей развития планктона.

Для морского побережья:

- слежение за изменением положения береговой линии для выделения областей устойчивого размыва, интенсивной и слабой аккумуляции;

- установление границ зон затопления береговой полосы катастрофическими штормовыми нагонами, создающих чрезвычайные ситуации и способствующих интенсивному переносу загрязняющих веществ с моря на сушу и обратно в море;

- выявление характера землепользования, его негативных последствий (нарушение растительного покрова, изменение режима обводненности при строительстве каналов, дамб, рисовых чеков, заболачивание, обмеление, осолонение, зарастание и загрязнение лиманов).

Для дельтовых участков рек Дона и Кубани:

- наблюдение за многолетней и сезонной динамикой процессов дельтообразования и водного режима дельт, их зарастания, выдвижения или размыва; трансформацией в результате изменения объема среднегодового стока и уровня Азова; техногенных преобразований;

- определение зон затопления дельт при катастрофических наводнениях (половодьях, паводках, штормовых нагонах);

- выявление экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием на дельту (по определению характера землепользования).

К несомненным достоинствам космических изображений следует отнести единовременность охвата значительной площади акватории, непрерывность информационного содержания снимка для каждой точки изображения, высокая периодичность регистрации состояния водных масс и прибрежных территорий. Однако определение многих характеристик (например, количественный и качественный состав взвесей и загрязняющих веществ в морской и речной воде, промышленных стоках и т.д.) пока недоступно космической информации. Можно лишь по косвенным признакам судить о тех или иных параметрах, достоверное определение которых зависит от результатов синхронных подспутниковых наблюдений, многочисленных сопоставлений космической информации с данными наземных измерений на момент съемки для установления зависимостей между тоном, структурой изображения и количественными характеристиками, дальнейшим совершенствованием съемочной аппаратуры.

Дешифрирование космических изображений акватории Азовского моря требует особого подхода. Система циркуляции течений мелководного моря создается наиболее часто повторяющимися ветрами и охватывает всю толщу воды, что приводит к ее перемешиванию и взмучиванию, затрудняя определение границ распространения твердых речных взвесей. Для их достоверного определения следует выбирать снимки, выполненные в безветренный период. В качестве районов исследования были выбраны участки прибрежно-шельфовая зона восточной части Азовского моря. Для выявления основных закономерностей пространственно-временной циркуляции прибрежных вод была использована видеоинформация, полученная с ИСЗ "Ресурс-01" за период 1985-1997 гг. (масштаб изображения 1:300000, разрешающая способность 30 м, спектральные диапазоны съемки 0.5-0.6 и 0.6-0.7 мкм). Критериями отбора снимков служили: отсутствие облачности, контрастность изображения, визуальный рисунок распределения морских вод различной мутности. Методика дешифрирования космических изображений основывалась на анализе конфигураций и смены тональности рисунков изображения. Так, белые и светло-серые пятна, линии, вуали на общем темном фоне прозрачной морской воды отражают распределение взвесей в зоне смешения речной и морской воды. Самые яркие светлые пятна, как правило, расположены в устьях рек и в непосредственной близости к ним. Это объясняется тем, что после отрыва речной струи от дна при выходе на акваторию

взвешенные наносы выпадают в виде “песчаного дождя”, причем интенсивность и крупность выпадающих частиц обратно пропорциональна расстоянию от устья – чем ближе к устью, тем крупнее фракции осадочного материала, а мелкодисперсные захватываются морскими течениями и разносятся на большие расстояния, участвуя в процессе морского осадкообразования [6]. Соответственно границы распространения мутных вод в районах, прилегающих к устьям рек, могут быть идентифицированы как фронтальные разделы пресных речных и соленых морских вод. В качестве примера можно привести динамику речного стока, которая была прослежена в районе дельты Кубани для весеннего, летнего и осеннего периодов. На снимке, полученном 04.04.90 г. (рис.1а), отчетливо видны три небольших (от 1 до 3 км) участка мутьевого выноса из основных рукавов дельты, что позволяет судить о незначительном объеме поступления речной воды. Изображение дельты за 02.08.89 г. (рис.1.б) фиксирует мощный вынос твердого стока в море почти перпендикулярно берегу на расстояние до 12-15 км, а затем его поворот вправо параллельно берегу под действием вдольберегового течения. Осенний снимок 04.10.90 г. (рис.1.в) показывает практически полное отсутствие речного стока, о чем свидетельствует однородная светло-серая полоса, окаймляющая дельтовый участок берега со стороны моря, по всей вероятности соответствующая изображению мелководья.

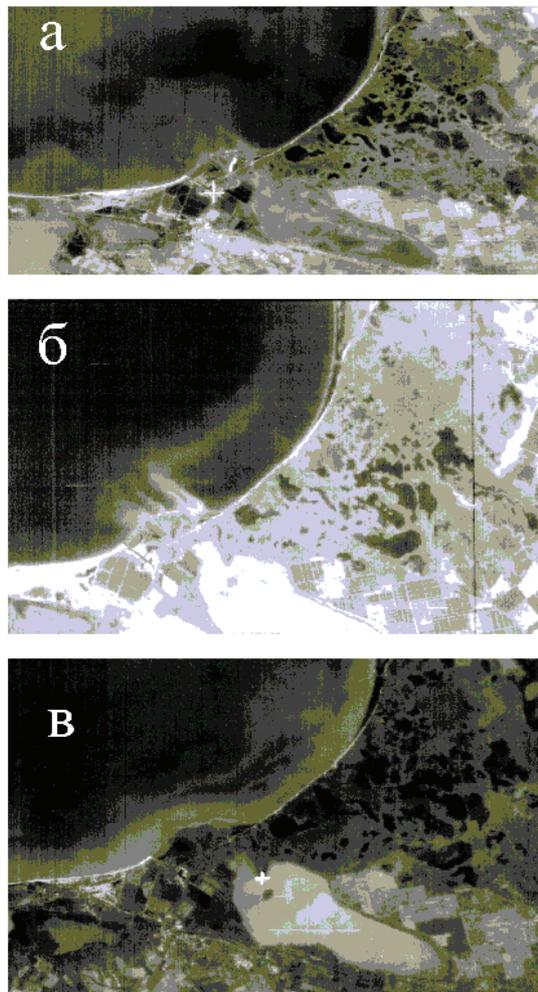


Рис. 1. Фрагменты трех космических изображений, отражающих относительную динамику объема стока р. Кубань: а) средний - 04.04.90 г.; б) максимальный- 02.08.89 г.; в) минимальный - 04.10.90 г.

Изучение строения подводного рельефа Таганрогского залива в районе косы Долгой и Ейского лимана проводилось по космическому изображению, полученному в диапазоне 0.5-0.6 мкм 12.07.97 (рис. 2 а). На

нем хорошо просматривается донный рельеф (до глубины 6-7 м), ареалы речных взвесей, "флаги" размыва берегов прибрежными течениями, области аккумуляции морских и речных наносов. Метеорологические данные показали, что все три дня до съемки и в момент съемки была практически безветренная погода. Совместный анализ снимков и батиметрической карты позволил с уверенностью предположить что на снимках отображается подводный рельеф, тон изображения которого меняется в зависимости от глубины дна. Квантование цифрового изображения акватории около косы Долгой и кодирование сигнала яркости изображения через 10 единиц разными цветами (рис 2 б) позволило выделить 8 градаций - ступеней последовательного увеличения глубины моря от 3 до 10 м, представленных в виде полос различной ширины, параллельных береговой линии.

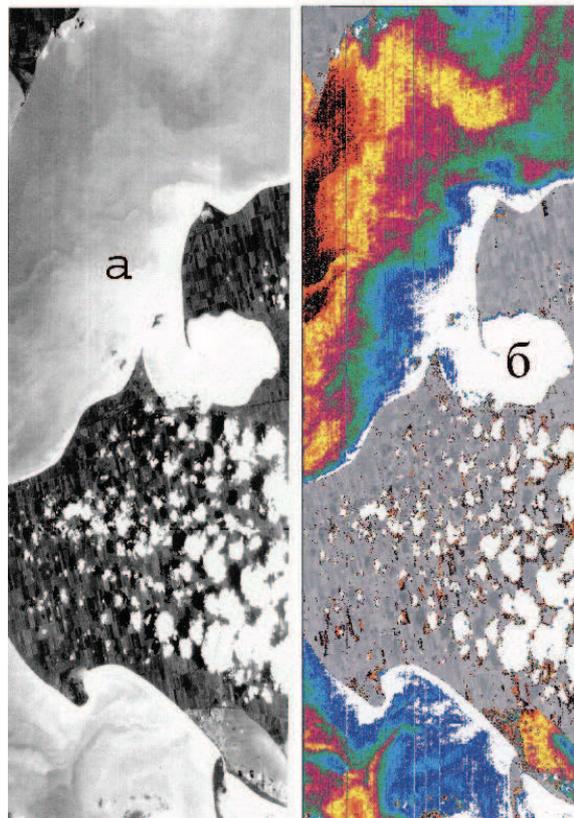


Рис. 2. Фрагмент космического изображения участка побережья Азовского моря (Таганрогский залив, Ейский лиман, коса Долгая) в диапазоне 0.5-0.6 мкм за 12.07.97 г. (а) и преобразованное изображение (б)

Достоверная интерпретация космических изображений возможна только на основе совместного анализа фактических данных метео- и гидрологических измерений (направлений и скорости ветра и течений, расходов воды и объемов твердого стока в замыкающих створах рек и пр.), полученных на репрезентативных ключевых участках для дальнейшей экстраполяции на весь район исследований.

Проведенные работы по изучению информационных возможностей космических изображений Азовского моря позволяют сделать следующие выводы:

- данные дистанционного зондирования представляют реалистичную картину синоптической, сезонной и многолетней циркуляции течений и изменчивости полей взвешенных веществ;
- современные возможности космической съемки позволяют получить изображение значительной по площади морской поверхности с разрешением 30-50 м, т.е. с такой детальностью, которую не в состоянии обеспечить гидрометеорологическая сеть с ее дискретными во времени и в пространстве наблюдениями;

- достоверная интерпретация космических изображений возможна только на основе совместного анализа фактических данных метео- и гидрологических измерений (направлений и скорости ветра и течений, расходов воды и объемов твердого стока в замыкающих створах рек и пр.), полученных на репрезентативных ключевых участках для дальнейшей экстраполяции на весь район исследований.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований – грант № 05-05-65023.

Литература

1. Фацук Д.Я. Оценка антропогенной нагрузки на водосборы Черного и Азовского морей (географо-экологический подход) // Водные ресурсы, 1998. Т.23. №6. С.694-711.
2. Кукса В.И. Южные моря (Аральское, Каспийское, Азовское и Черное) в условиях антропогенного стресса // С-Пб.: Гидрометеиздат, 1994. 320 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том V. Азовское море. Справочное издание. Проект «Моря СССР» // С-Пб: Гидрометеиздат, 1991. 234 с.
4. Хрусталева Ю.П., Ивлева О.В. Геоэкологическое состояние береговой зоны Азовского моря // М.:1998. 49 с.
5. Геоэкология шельфа и берегов морей России. Под ред. Н.А.Айбулатова // М.: Издат. Дом «Ноосфера», 2001. 428 с.
6. Джаошвили Ш.В. Речной сток и сток наносов в Черное море // Водные ресурсы, 1999. Т.26. №3. С.275-282.