

ДИАГНОСТИКА ТОПОГРАФИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ В ЗОНЕ СГОННО-НАГОННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА БАЗЕ ДАННЫХ TERRA/MODIS

У.М. Султангазин, Н.Р. Муратова, А.Г. Терехов, Н.Ю. Цычуева

*Институт космических исследований МОН РК, ул. Шевченко, 15, Алматы, 050010,
тел: 73272 939360, факс: 73272 918077, e-mail: a_terekhov@mail.kz*

На базе 55 безоблачных снимков TERRA/MODIS (1,2 каналы, разрешение 250 м) северо-восточного побережья Каспийского моря изучены конфигурации передней береговой линии нагонных волн в период с марта по ноябрь 2002 года. Построена матрица (608x265) плотности вероятности месторасположения береговой линии в прибрежной зоне. Проведена диагностика топографии тестового участка прибрежной зоны с формальной точностью по высоте рельефа 5.0-7.5 см. Результаты могут быть использованы для контроля над гидродинамическими режимами и системами стока воды в процессе сгонно-нагонных явлений в зоне интенсивной нефтедобычи Казахстанского сектора Каспийского моря.

Введение

Северо-восточная часть Прикаспийского региона одна из основных зон нефтедобычи на территории Казахстана. Плоская равнина Прикаспийской низменности с абсолютными высотами от -27 до 0 м плавно переходит в море, что создает благоприятные условия для сгонно-нагонных явлений, возникающих при штормовой погоде. Эффективная высота подъема уровня воды в несколько метров соответствует наступлению нагонной волны далеко вглубь территории. Сгонные явления сопровождаются процессами переноса взвешенного материала с водой в мелководную северную часть Каспийского моря. Ряд крупных месторождений нефти с многочисленными эксплуатируемыми и законсервированными скважинами находится на территории сгонно-нагонных явлений или в непосредственной близости от них. Экологическая ситуация требует понимания и корректных подходов к моделированию водного режима этой части Каспийского побережья.

Перенос мелкодисперсного материала и песка во время сгонно-нагонных процессов потенциально способен динамично изменять топографию прибрежной зоны. Проведение наземной топографической съемки обширных (140x50 км) равнинных территорий Северо-восточного побережья Каспийского моря в условиях заболоченных низин, периодически заливаемых нагонными морскими волнами, представляет сложную задачу. Информация о современной топографии прибрежной зоны Прикаспийской низменности из-за близости к инфраструктурам нефтяных месторождений имеет большое практическое значение.

1. Сгонно-нагонные явления

Сильный западный ветер, формируя нагонную волну, гонит воды Каспийского моря на побережье. При высоте волны в несколько метров глубина проникновения моря на побережье в некоторых направлениях достигает 15-20 километров. Распределение эффективной высоты поднятия моря вдоль побережья зависит от поля скоростей ветра, которое в общем случае не является стационарным. Конфигурация береговой линии при нагонных явлениях зависит от силы и ориентации ветра вдоль побережья. В разные дни пространственные характеристики ветровых условий изменяются, поэтому конфигурации береговых линий варьируются в довольно больших пределах (рис. 1в). Пересекающиеся линии при сравнении конфигураций береговых линий в различные дни говорят о существенной неоднородности ветровых условий вдоль побережья.

2. Диагностика топографии побережья по береговым линиям

Поверхность воды, примыкающая к суше, сама по себе является изогипсой. Спутниковые данные в видимом диапазоне могут использоваться для получения информации о топографии местности через дешифрирование расположения береговых линий. Чем более пологий берег водного объекта, тем большую пространственную амплитуду имеет береговая линия при изменении уровня воды, и тем точнее дешифрируется топография побережья на основе спутниковых данных.

Высота нагонной волны определяется направлением, продолжительностью и силой ветра. Из-за различий в ветровых условиях вдоль побережья береговая линия при нагонных явлениях не является изо-

гипсой. Однако на небольшом пространственном масштабе можно считать ветровые условия неизменными, а небольшой фрагмент береговой линии соответствующим изогипсе. Вероятность попадания береговой линии на некоторый участок побережья будет зависеть от частоты посещения нагонной волны и локального уклона анализируемой точки. Плоские места нагонная волна проходит быстро, а движение вверх по склонам идет медленнее. Поэтому вероятность зафиксировать береговую линию в окрестности точки, находящейся на положительном склоне, выше, чем на плоских местах.

Мониторинг конфигураций береговых линий (БЛ) при нагонных явлениях дает возможность определять плотность вероятности нахождения границы вода-суша в каждой точке прибрежной зоны. Полученная информация позволяет диагностировать топографию прибрежной зоны в период наблюдений. Повышение локальной вероятности нахождения БЛ в некоторой точке указывает на наличие повышенного уклона, а близлежащая конфигурация поля вероятности определяет его ориентацию.

3. Методика обработки спутниковых данных

Ежедневные спутниковые снимки TERRA/MODIS каналы 1 (620-670 нм) и 2 (841 - 876 нм) с разрешением 250 м использовались для мониторинга береговых линий Северо-восточного побережья Каспийского моря в теплый период (март-ноябрь) 2002 года в пределах координат: 45°10' - 47°00' с.ш. и 52°50' - 53°22' в.д. Пятьдесят пять относительно безоблачных сцен выбрано для дешифрирования расположения береговой линии.

Первый канал (620-670 нм) TERRA/MODIS использовался для оценки степени облачности снимка, а второй (841-876 нм) для классификации и выделения береговой линии. По данным второго канала прибрежная территория на безоблачных снимках разделяется на два класса: водная поверхность и поверхность суши (рис. 1а). С помощью порогового алгоритма дешифрировалась поверхность воды. В прибрежной зоне за береговую линию принималась передняя граница односвязной водной поверхности Каспийского моря. Границы отдельных мелких озер, остающихся в глубине побережья при отступлении воды, или островов, образующихся при ее наступлении, не участвовали в построении береговой линии. Подобные правила необходимы для упрощения интерпретации и математической обработки результатов мониторинга.

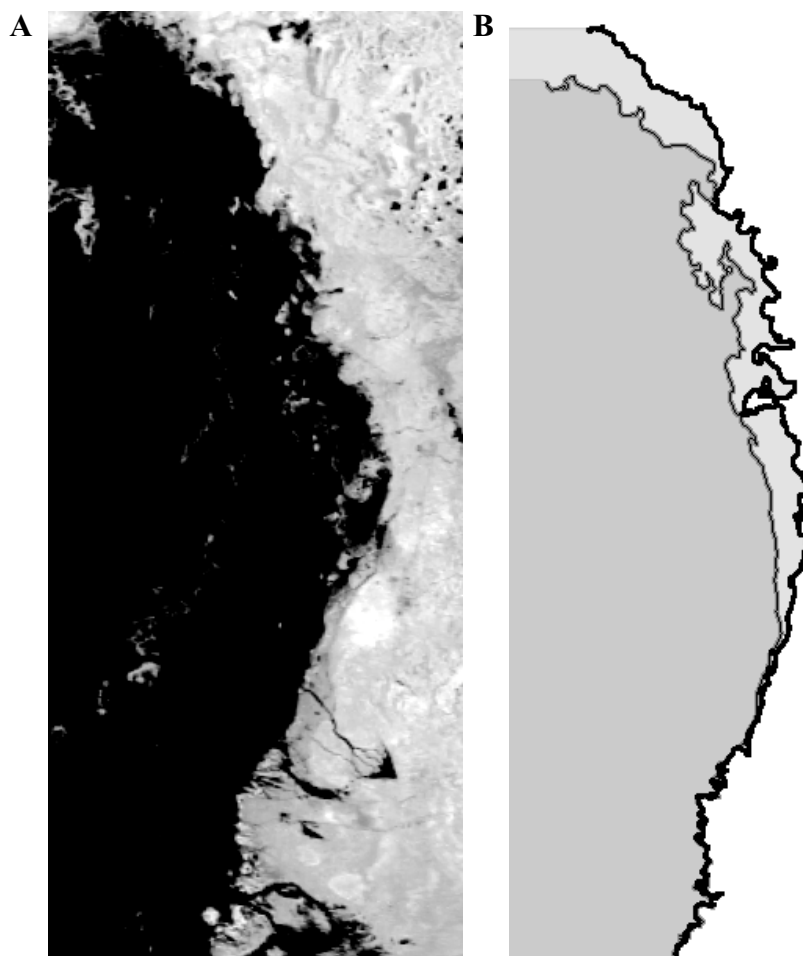


Рис. 1. **А** - Космоснимок TERRA/MODIS северо-восточной части Каспийского моря, 13 марта 2002 года, канал 2 –841-876 нм, разрешение 250 м. **В** - конфигурации береговой линии (1 – на 22 июня ; 2 - на 18 июня 2002).

4. Реконструкция топографии побережья

Пространственного разрешения спутникового снимка TERRA/MODIS в 250 м достаточно, чтобы зафиксировать 40 возможных различных позиций БЛ при 10 километровой глубине вторжения нагонной волны. Это соответствует диагностики топографии прибрежной зоны с формальной точностью в 5,0-7,5 см. На примере зарегистрированных в период с марта по ноябрь 2002 года 55 конфигураций (рис.2а) была построена матрица плотности вероятности нахождения береговой линии размером 608x265 с элементом территории 250x250 м (рис. 2в).

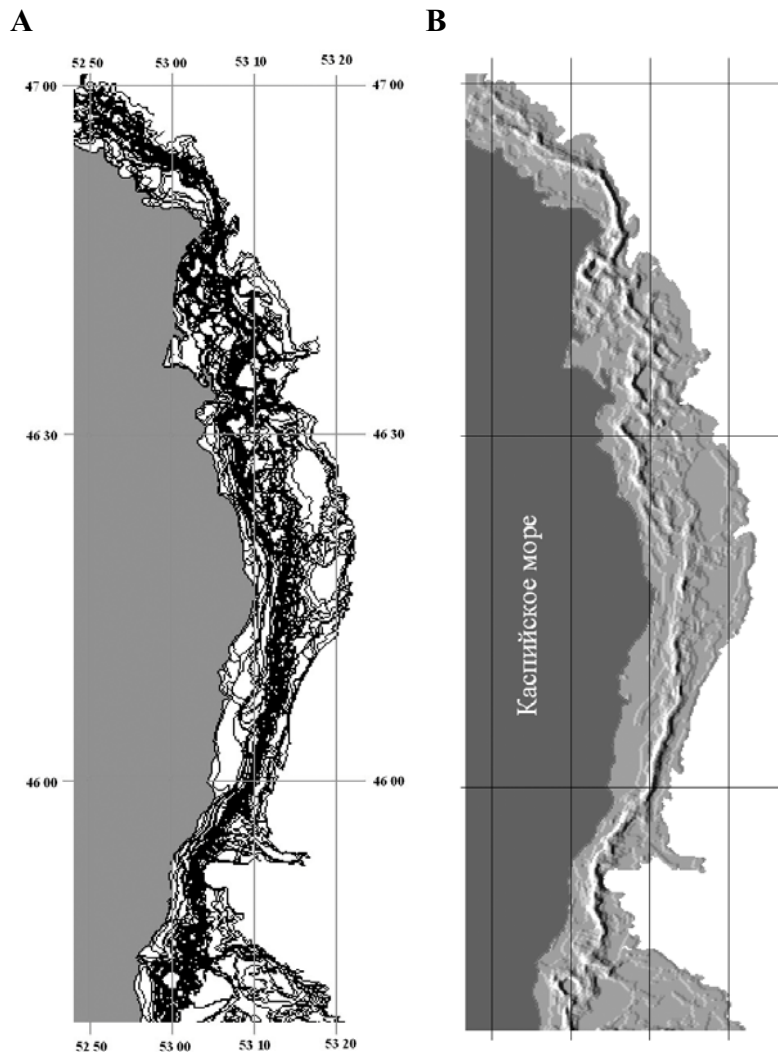


Рис. 2. 55 конфигураций береговых линий (А) и изображение плотности вероятности (В) расположения береговой линии при нагонных явлениях на северо-восточном побережье Каспийского моря по данным MODIS (разрешение 250 м) за март-ноябрь 2002 года.

Определенные сложности вносит неодинаковая частота посещения нагонной волной точек на побережье. Максимум частоты приходится примерно на середину территории, подверженной воздействию нагонных волн. Плотность вероятности нахождения береговой линии имеет смысл близкий к кривизне местности - чем выше плотность вероятности, тем круче склон. Без детальной информации о параметрах нагонных волн – распределении их по высотам, невозможно построить гипсометрическую карту в абсолютных высотах. К сожалению, мы не располагали подобной информацией, поэтому реконструкция топографии побережья осуществлялась двумя вариантами:

- через набор расчетных изогипс, проведенных по равным значениям плотности вероятности нахождения БЛ, рис. 3 (в). Расстояния между построенными изогипсами в этом случае не линейны к абсолютным значениям высот. Структура изогипс отражает сумму двух факторов: функцию распределения нагонных волн по высотам и реальную топографию местности. Таким образом, формируется центральное, ярко выраженное центральное сгущение изолиний, соответствующее максимуму в распределении нагонных волн по высотам. Форма изогипс искажена особенностями рельефа местности, поэтому вместо прямых линий наблюдаются кривые.
- на базе результатов первого расчета и дополнительной коррекцией, предназначенной для учета фактических частот посещения нагонными волнами различных точек побережья. Анализ суммарной плотно-

сти вероятности по сечению, перпендикулярному направлению побережья (рис. 4а), позволяет оценить параметры распределения нагонных волн по высотам. Распределение имеет ярко выраженную одномодальную структуру, рис. 3(в). В дальнейшем часть изогипс отброшена с тем, чтобы ликвидировать одномодальность в распределении и привести расчетную топографию, в первом приближении, к линейному масштабу от высоты местности над уровнем моря, рис.3(с). Распределение плотности вероятности по сечению, перпендикулярному направлению побережья, после коррекции показано на рисунке 4(в).

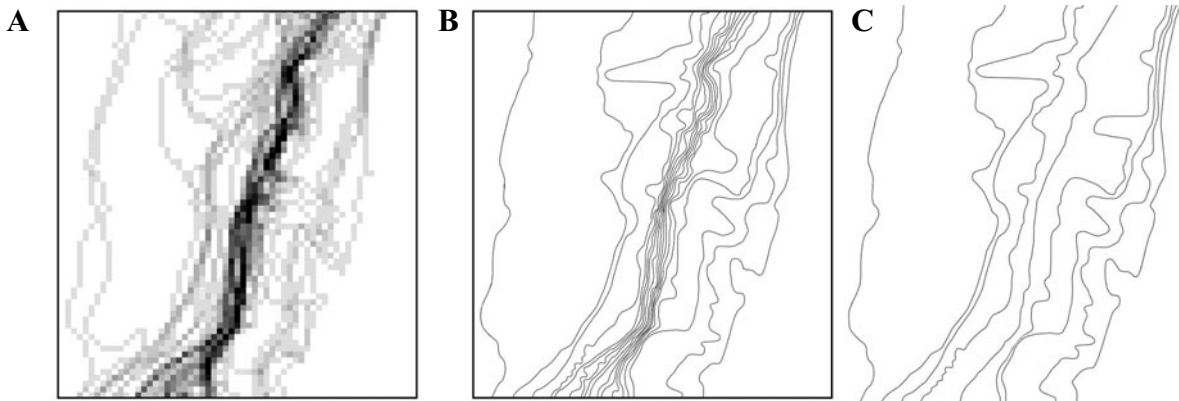
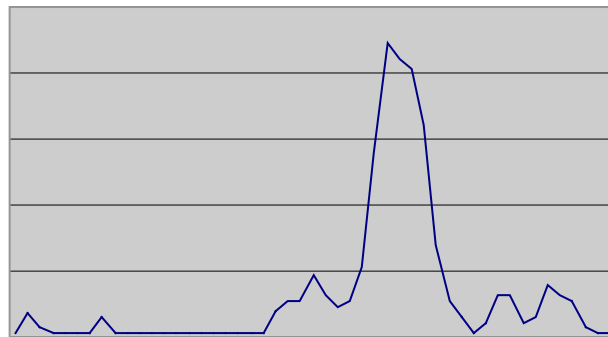


Рис. 3. А - фрагмент территории Северо-восточного побережья Каспийского моря с матрицей плотности вероятности нахождения береговой линии.
 В - расчетная топография местности: 17 изогипс, расположенных через равные величины (1/16) поля плотности вероятности нахождения береговой линии.
 С - расчетная топография местности после пересчета на одинаковую частоту посещения нагонной волной всех точек побережья: 9 изогипс с линейным масштабом по высоте.

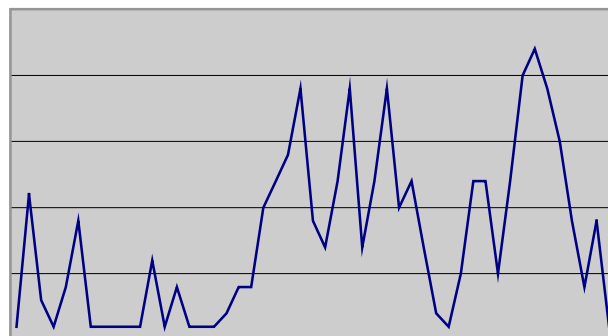
Плотность вероятности регистрации береговой линии нагонной волны

А



Расстояние от стационарной береговой линии Каспийского моря

В



Расстояние от стационарной береговой линии Каспийского моря

Рис. 4. А – распределение суммарной плотности вероятности нахождения БЛ нагонной волны по сечению тестового участка. В – распределение после коррекции.

Заключение

Регулярные многолетние ежедневные спутниковые наблюдения за динамикой береговой линии могут служить ценным источником информации об изменениях рельефа прибрежной зоны Прикаспийской низменности, подверженной интенсивному воздействию нагонных волн. Топография прибрежной зоны определяет системы стока воды в процессе сгонно-нагонных явлений на северо-восточном побережье Каспийского моря. Полученные данные представляют интерес для контроля экологической ситуации в акватории моря и прилегающей территории и накопления информации, необходимой для прикладного моделирования нагонных явлений.