

Исследование мезомасштабных процессов в Черном море при помощи космических изображений

Л. И. Миленова, Е. В. Станев*

Институт космических исследований БАН
* СУ „Св. Климент Охридски“

Связь между оптическими свойствами морских вод и физическими полями дает ряд возможностей использования космических изображений Земли для анализа динамики морей и океанов. Дистанционные данные применяются для исследования трансформации речных вод в океане, фронтальных процессов, колец крупных течений, апвелинга и др. Основным является определение точных количественных соотношений между параметрами космических изображений (оптической плотностью) и некоторыми параметрами термогалинной или динамической структуры водных масс. Часто такие соотношения имеют локальный характер, и их вид зависит от параметров используемой аппаратуры.

В [1] и [2] приводятся результаты совместного анализа судовых и дистанционных данных в северо-западной и западной частях Черного моря. Эти результаты показывают, что в исследуемых районах существует взаимосвязь между полями солености и прозрачности вод. Приведенный в [2] качественный анализ указывает на существование некоторых общих закономерностей в распределении оптической плотности космических изображений и поля солености на поверхности моря. Так как последнее тесно связано с динамическими процессами, можно предполагать, что космические изображения в западной части Черного моря дают полезную информацию о гидрофизических полях.

Экспериментальные и теоретические исследования, проведенные в последние годы [3], указывают на то, что процессы вихреобразования имеют существенное значения для динамики Черного моря. Наиболее интенсивно протекают они в области основного черноморского потока (ОЧП) и в прибрежных областях. Вследствие бароклинной неустойчивости струи ОЧП образуют меандры, и от него отрываются отдельные вихри. Расчеты показывают, что их размеры имеют радиус деформации 40—50 km.

Особенно активен процесс вихреобразования в западной части Черного моря. Обработка гидрологических данных показывает, что в этом районе горизонтальные градиенты солености и прозрачности морских вод особенно

велики. Это объясняется фактом, что по обеим сторонам ОЧП имеются течения с существенно различающимися термогалинными особенностями и концентрациями примесей. Этому способствует и проникновение в узкую прибрежную полосу распресненных дунайских вод.

Значительные горизонтальные градиенты прозрачности вод обуславливают наличие градиентов оптической плотности на космических изображениях [2]. По этой причине оказывается возможным интерпретировать особенности распределения оптической плотности как результат соответствующих особенностей фронтальной зоны. Вихревые образования в сторону открытого моря имеют преимущественно антициклонический характер. Они включают в себя шельфовые воды пониженной прозрачности и солености. На их периферии создаются большие градиенты прозрачности вод, что влияет на интенсивность излучения моря и на оптическую плотность космических изображений. Таким образом, используя эти изображения, можно судить об изменчивости течений в исследуемом районе. Использована информация, полученная при помощи научной аппаратуры „Болгария-1300-11“, установленной на ИСЗ „Метеор—Природа“ [4]. Эта информация включает сканерные изображения в двух спектральных интервалах (0,5—0,7 μm и 0,7—1,0 μm) с разрешающей способностью 250 м. Обработка изображений проведена с использованием аналоговой системы преобразования и интерпретации аэрокосмической видеoinформации, разработанной в ИКИ-БАН [10].

На рис. 1 показана схема распределения вихревых образований, полученная на основе вышеуказанной обработки оптической плотности космического изображения в диапазоне 0,5—0,7 μm . Район над ОЧП обхватывала большая облачная система, на востоке от которой располагалась серия вихрей, распространяющихся на юг и имеющих диаметр порядка 30—40 км. Более детальное визуальное дешифрирование структуры этих вихрей показывает, что вода в них движется по часовой стрелке.

Между Анатолийским побережьем и Крымским полуостровом расположена большая область с повышенными значениями оптической плотности. Очень часто в этих областях общая циклоническая циркуляция ослабевает. Существуют указания [6, 7], что часто в этой области движение вод антициклоническое. Приведенные в [3] результаты по изменчивости динамики Черного моря показывают возможность создания в ней антициклонического меандра или вихря ОЧП. Можно ожидать, что упомянутая особенность в распределении плотности оптического изображения связана с антициклоническим движением в центральных областях моря.

Особенно хорошо прослеживаются особенности вихревой структуры течений в областях с резкими градиентами оптических свойств морской воды. Как было упомянуто выше, эти градиенты особенно высоки для дельты реки Дуная и вблизи западного берега Черного моря. На рис. 2 хорошо прослеживается проникновение дунайских вод вдоль западного берега. Схемы, показанные на рис. 2, созданы на основе космического изображения в диапазоне 0,5—0,7 μm . Особенности распределения оптической плотности указывают на то, что южнее распространение дунайских вод связано с формированием локальных вихрей в шельфовой зоне. Более детальный визуальный анализ космического изображения свидетельствует о том, что в этой зоне образование вихрей связано с меандрированием узкой прибрежной струи. Для дня исследования — 14. 08. 1982 г., было обработано и космическое изображение в диапазоне 0,7—1,0 μm . В узком прибрежном слое, вблизи берега, наблюдаются полосы повышенной оптической плотности (рис. 3).

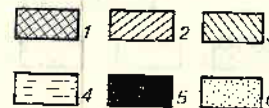
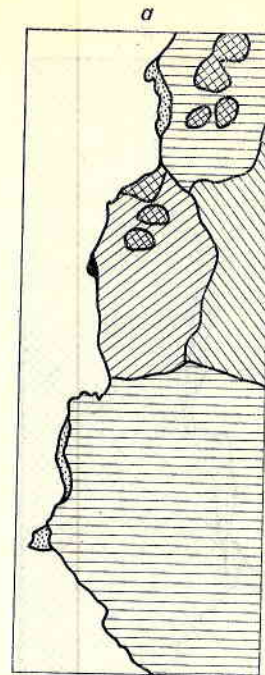
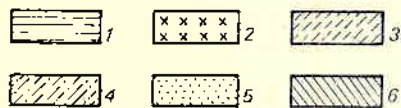
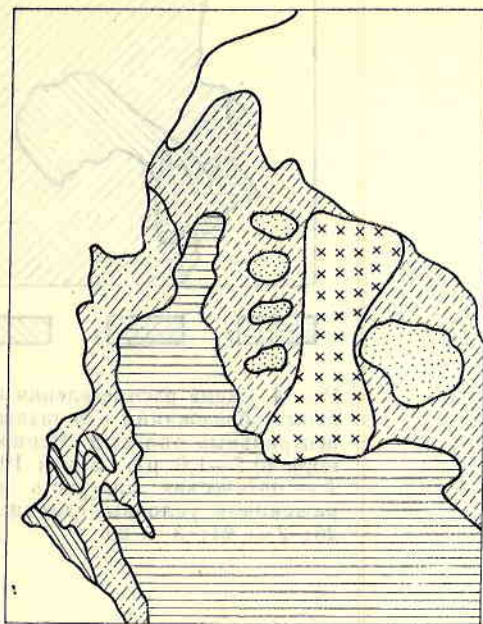


Рис. 1. Схема распределения вихревых образований в западных и центральных областях Черного моря (0,5—0,7 м, 25 мая 1982)
1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 16; 2 — 20; 3 — 23; 4 — 29; 5 — 24; 6 — 30

Рис. 2. Схема проникания дунайских вод вдоль западного берега Черного моря (0,5—0,7 м, 14 августа 1982)
1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 16; 2 — 17; 3 — 19; 4 — 20; 5 — 24; 6 — 27

Возможно, это связано с некоторыми локальными явлениями или же со специфической структурой тонкого поверхностного слоя.

Дистанционные данные дают полезную информацию об исследовании распространения примесей в прибрежных областях. Как показывают результаты теоретических и экспериментальных исследований, структура течений в этих областях довольно сложная. Результаты модельных расчетов, обсуждаемых в [7], показывают, что при определенных ветрах на шельфе западной части Черного моря создается система течений и противотечений. Часто между ними создаются и больше по размеру вихри [8]. В подтверждение вышесказанного можно рассмотреть рис. 1 (область между берегом и облачной системой). Южнее Бургасского залива водные массы проникают в узкий прибрежный слой в направлении Босфора. К западу от этого потока северное течение переносит воды с существенно различающимися оптическими характеристиками.

Оптическая плотность космических изображений позволяет определить

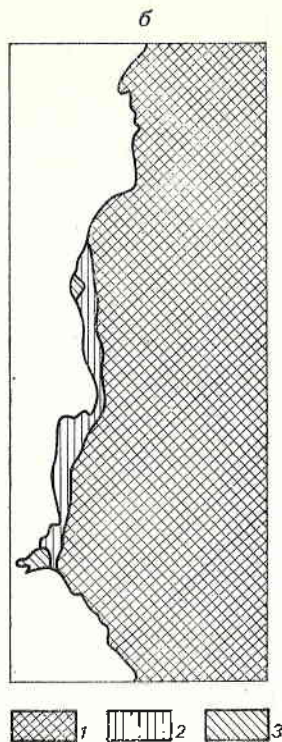


Рис. 3. Схема проникания дунайских вод вдоль западного берега Черного моря (0,7—1,0 мп, 14 августа 1982)

1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 27; 2 — 29; 3 — 30

приблизительно размеры прибрежных течений. Так, например, из рис. 1 становится ясным, что северное противотечение проникает до параллели 42°, где наблюдается сильное антициклоническое завихрение. Течение поворачивает на восток и включается в ОЧП.

Анализ рис. 1 указывает на некоторое совпадение результатов о локальных особенностях течений на шельфе с результатами прежних работ [9]. У берега течение направлено на юг. Западнее этого южного течения создается северное противотечение. Между ним и ОЧП располагается область с антициклонической циркуляцией. Следует, однако, отметить, что струи, соответствующие гидрологической ситуации мая 1982 г., заметно шире, чем описанные в [9]. Очевидно, что система шельфовых течений изменяется во времени, что является результатом изменяющихся ветровых воздействий.

Изменчивость течений во времени хорошо иллюстрируется сравнением рис. 1 и 4. На последнем рисунке показано распределение оптической плотности в диапазоне 0,7—1,0 мп, т. е. на 20 дней раньше, чем на рис. 1. Оптическая плотность в прибрежных областях повышена. В обоих случаях в районе Бургасского залива оптическая плотность достигает наибольших значений. Однако форма области с положительными аномалиями за 20 дней заметно изменилась. В первом случае (рис. 1) эти воды проникают далеко на юг, а во втором (рис. 4) — на восток. Детальное рассмотрение изображений показывает, что в районе западной части Черного моря между прибрежными струями имеются вихревые образования.

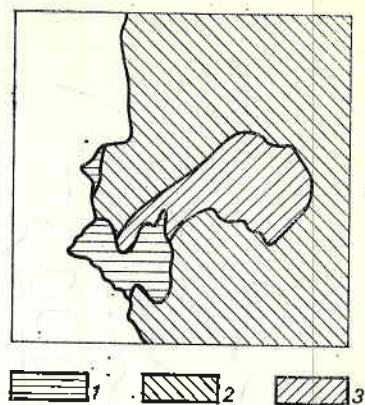


Рис. 4. Схема распределения вихревых образований в западных и центральных областях Черного моря (0,7—1,0 мп, 5 мая 1982)

1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 26; 2 — 24; 3 — 20

Следует отметить, что анализ космических изображений в первой декаде мая дает возможность обнаружить горизонтальную микроструктуру вод на поверхности моря в районе вихрей (рис. 5). Оптическая плотность изображения, связанная с концентрацией примесей, имеет значительные градиенты на расстояниях порядка 30—40 км. Подобные эффекты иногда связаны с существованием внутренних гравитационных волн. Однако конфигурация распределения оптической плотности в данном случае имеет специфическую форму и, по-видимому, является результатом динамических явлений на поверхности моря.

Как было упомянуто выше, распределение оптической плотности в диапазоне 0,7—1,0 мкм дает представление о явлениях, протекающих на поверхности моря. Сравнение космических изображений в двух спектральных диапазонах указывает на заметные различия в оптической плотности. Очевидно, повышение оптической плотности в некоторых локальных прибрежных областях в диапазоне 0,7—1,0 мкм не означает обязательно понижение мутности воды. Возможно, это связано с оптическими свойствами примесей. Их распространение в сторону открытого моря находится в зависимости от метеорологических условий до космических съемок и во время их проведения. В период 5—15.08.1982 г. преобладающие ветры имели восточную



Рис. 5. Горизонтальная микроструктура вод на поверхности Черного моря

составляющую. Этот результат прослеживается на рис. 3. В период 15—25. 05. 1982 г. преобладали западные и юго-восточные ветры. Западная составляющая способствует выпуску прибрежных вод в сторону открытого моря.

Наиболее сложная метеорологическая картина наблюдается в первой декаде мая, когда трудно выделить преобладающее направление ветра. Однако и в этом периоде существует ряд случаев, когда ветер имеет западную составляющую, что способствует распространению примесей в сторону открытого моря.

Выводы

1. По данным сканерных изображений можно выделить вихревые образования протяженностью в 30—40 км в западной и центральной частях Черного моря.

2. Выделяется антициклоническое движение водных масс в районе между Крымским полуостровом и Анатолийским побережьем.

3. Особенно хорошо прослеживаются вихревые структуры течений в областях с резким переходом градиентов оптических свойств морской воды (это касается прежде всего распространения пресных вод Дуная с высокой концентрацией наносов).

4. Данные дистанционных исследований дают важную информацию о распространении примесей различного происхождения в прибрежных областях и в районах Варненского и Бургасского заливов.

5. По оптической плотности сканерных изображений определяются приблизительные размеры прибрежных течений (здесь имеется в виду северное противотечение, где наблюдается сильное антициклоническое завихрение).

6. По сканерным данным хорошо прослеживается изменчивость течений 20-дневного периода при обязательном учете синоптической обстановки (скорости и направления ветра).

7. Анализ космических изображений дает возможность установить горизонтальную микроструктуру воды на поверхности в районе вихрей. Такой эффект можно связать с существованием внутренних гравитационных волн.

8. Поскольку детали гидрологического поля в исследуемой области пока еще недостаточно изучены по наземным данным, сочетание их с модельными расчетами и дистанционной информацией является особенно перспективными для выяснения этих процессов.

В заключение авторы выражают благодарность н. с. Б. Пееву за оказанную помощь в работе с аналоговой системой для обработки космических изображений.

Л и т е р а т у р а

1. Гришин, Г. А., Ю. П. Ильин. Изменчивость океанографических полей северо-западной части Черного моря по данным спутниковых видеоизображений. Методы обработки космической океанологической информации. Севастополь, АН УССР, 1983.
2. Мишев, Д. Н., Е. В. Стаев, Л. И. Миленова, Н. И. Рачев. Анализ солёности на поверхности западной части Черного моря на основе судовых и дистанционных данных. — Аерокосмически изследвания в България. 1989, № 7.

3. Блатов, А. С.; В. А. Булгаков, А. В. Иванов, А. Н. Косарев В. С. Тужилкин. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. Л., Гидрометеиздат, 1984.
4. Национална програма "БЪЛГАРИЯ-1300". С., 1979.
5. Зенкович, В. П. Черное и Азовское моря. — В: Океанографическая энциклопедия. Л., Гидрометеиздат, 1974.
6. Станев, Е. В. О поле течений Черного моря в зимний сезон. Диагностические расчеты. — Българско геофизично списание, 10, 1984, № 1.
7. Станев, Е. В. Влияние ветра на поле течений Черного моря и в районе болгарского побережья. — Българско геофизично списание, 10, 1984, № 2.
8. Трухчев, Д. И., Е. В. Станев. Численная модель течений западной части Черного моря. — Океанология, 23, 1983, вып. 1.
9. Станев, Е. В., Л. И. Милевова, В. М. Русенов, Е. К. Руменица. Дистанционные и модельные исследования динамики западной части Черного моря. — Исследование Земли из Космоса, 1986, № 1.
10. Micheli, D. N., V. P. Pchev. Electron system for image transformation and coding in conventional colours. — Compl. Rend. Acad. bulg. Sci., 31, 1978, No 11.

Black Sea meso-scale processes study with the help of space images

L. I. Milenova, E. V. Stanev

(Summary)

Co-analysis has been conducted of space images obtained via the scientific complex BULGARIA-1300 on board the METEOR-PRIRODA satellite and dynamics model research of the West Black Sea regions.

Some qualitative results were obtained, outlining the basic dynamics peculiarity of the coastal region waters, namely the vortical field structure and the coastal currents meandering.

This is of great importance for the study of formation processes and Black Sea waters exchange, as well as for the solution of problems concerning the distribution of coastal region admixtures.