

Анализ солености на поверхности западной части Черного моря на основе судовых и дистанционных данных

Д. Н. Мишев, Е. В. Станев*, Л. И. Миленова
Н. И. Рачев*

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

Существующие соотношения между оптическими параметрами морских вод и гидрологическими полями делают возможным использование космических изображений для анализа этих полей. Для этого необходимо исследовать количественные соотношения между оптической плотностью как одним из дешифровочных признаков космических изображений и некоторыми параметрами термогалинной или динамической структуры водных масс. Особенно перспективным оказывается применение космических изображений для районов с хорошо выраженными зависимостями между оптическими и термогалинными параметрами. В настоящей работе в качестве такого района рассматривается западная часть Черного моря.

В [5] на основе анализа квазисинхронных судовых данных о солености и космических изображениях с ИСЗ „ЛАНДСАТ“ в районе залива Сан-Франциско получена корреляционная зависимость

$$S=f(I_n), \quad n=1, 2, 3,$$

где S — соленость морской воды, I_n — интенсивность излучения в трех каналах. Подобное исследование для северо-западной части Черного моря проведено в [1]. Настоящая работа представляет расширение последнего исследования для района, расположенного на западном побережье Черного моря. В этом районе горизонтальные градиенты солености слабее, чем в северо-западном мелководном районе.

Для анализа поля солености на поверхности моря использованы данные стандартных гидрологических съемок. В качестве дистанционных данных использованы космические скаперные изображения, полученные в рамках проекта „Болгария-1300-II“ ИСЗ „Метеор-Природа“ в оптических диапазонах 0,5—0,7 μm и 0,7—1,0 μm . Для иллюстрации этих данных в настоящей работе использованы изображения западной части Черного моря, полученные 16 и 28 сентября 1982 г.

Анализ распределения солености и прозрачности вод

В Черном море распределение солености создается под воздействием пресноводного стока и обмена вод через Босфор вследствие испарения и гидрометеорологических воздействий. В результате вертикальных движений и диффузии создается мощный галоклин, расположенный на глубинах 150—200 м. Во внутренних областях моря галоклин поднимается, а в прибрежных — опускается. Таким образом внутренняя область моря оказывается заполненной более солеными водными массами. Основной черноморский поток (ОЧП) разделяет внутренние и шельфовые водные массы. На поверхности моря это положение приблизительно совпадает с положением изогалины 18‰. В западной части моря пониженные значения солености в шельфовой зоне являются результатом и проликования на юг дунайских вод.

Внутренние и шельфовые воды Черного моря существенно различаются и по содержанию биологических примесей, суспензированных веществ, загрязнителей и т. д. Это особенно заметно в западной части моря, где проликование речных вод создает аномальные концентрации некоторых примесей. Это приводит к изменению прозрачности вод, что, со своей стороны, влияет на оптическую плотность космических изображений.

В [1] на основе обработки экспериментальных данных были найдены некоторые зависимости между соленостью вод в северо-западном мелководном районе Черного моря. Подобная задача ставится и в настоящей работе. Исследуемый район расположен в 100—200 км от западного побережья Черного моря.

На основе существующего экспериментального материала были созданы массивы данных о гидрологических съемках по месяцам и сезонам, а также среднегодовые массивы. Анализ показывает, что корреляция между прозрачностью морской воды, определенной по глубине видимости стандартного белого диска, и соленостью на поверхности моря изменяется в различные сезоны. Она достигает наибольших значений зимой и весной и уменьшается летом и осенью. Последнее является следствием более однородной структуры гидрологических полей в теплое полугодие. Коэффициент корреляции, рассчитанный для мая—июня, составляет 0,77, а для января — марта 0,75.

Данные обрабатывались и в зависимости от расположения станций (на шельфе или в глубоких водах). В качестве разделяющей линии использована изобата 75 м. Оценки показывают, что корреляция между соленостью на поверхности моря и глубиной видимости белого диска увеличивается для шельфовых станций, где изменения обоих параметров более значительны. С увеличением однородности полей в глубине корреляция уменьшается.

На рис. 1, а показаны измеренные глубины видимости белого диска (P) и солености (S) зимой и весной. Построена регрессионная кривая, описываемая уравнением

$$(1) \quad S = 12,9265 + 0,9349P - 0,0618P^2 + 0,0049P^3,$$

где S (‰), P (м)

На рис. 1б и 1в показаны аналогичные результаты только для зимы (1б) и только для весны (1в). Крутизна левой части регрессионных кривых значительно превышает крутизну правой части. Этот вывод находится в хорошем соответствии с результатами, представленными в [1]. Более детальный анализ данных показывает, что левая (крутая) часть регрессионной

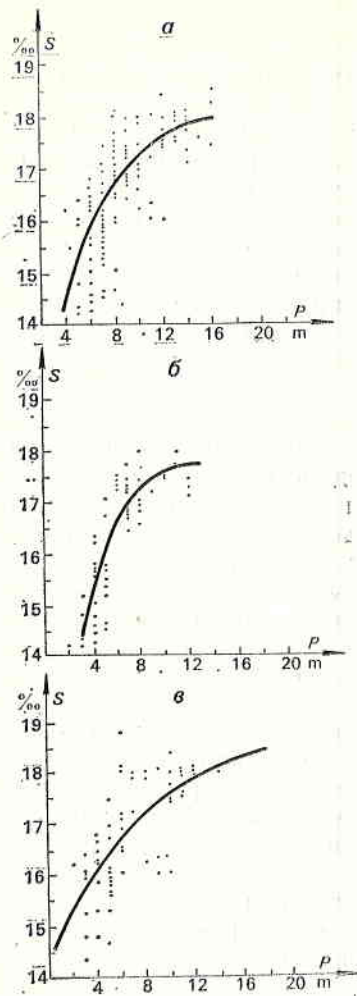


Рис. 1. Регрессионная кривая глубины видимости белого диска и солености воды зимой и весной (а), только для зимы (б) и только для весны (в)

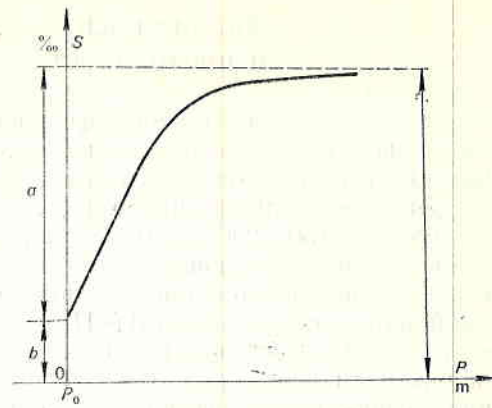


Рис. 2. Зависимость солености от прозрачности воды

кривой определяется полностью мелководными станциями, а правая — глубоководными. На шельфе прозрачность небольшая (6—8 м) и мало изменяется. Степень солености тоже небольшая, но изменяется в значительных пределах (14—17‰), в районе ОЧП изменение солености уменьшается (17—18‰), а прозрачности — увеличивается (8—20 м). Эти различия можно объяснить различным характером вод по обеим сторонам фронтальной поверхности (ОЧП). В сторону открытого моря горизонтальные градиенты прозрачности снова уменьшаются.

Эти исследования показывают, что зависимость S от P может быть выражена следующим образом [2, 3]:

$$S = a - \frac{k(P - P_0)}{1 + k(P - P_0)} + b,$$

где $a + b = c$ (рис. 2), $k = \text{const}$, которая определяет паклон зависимости $S(P)$, $P = P_0$, $P_0 = \text{const}$ — начальная величина зависимости $S(P)$.

Таблица 1

Фигура	k	a	b
1 а	0,212	6,43	13,25
1 б	0,396	7,00	11,50
1 в	0,09	6,00	15,00

Для представленных на рис. 1 кривых коэффициент k имеет значения, данные в табл. 1.

Совместный анализ судовых и дистанционных данных

Регрессионную и прочие зависимости (1), которые мы получили после обработки судовых данных, можно использовать для восстановления поля солености на поверхности моря по данным о глубине видимости белого диска. В области фронтальной зоны ОЧП изменение глубины видимости белого диска порядка 1 м позволяет обнаружить изменение солености порядка 0,1‰. При значительной (15‰) распресненности вод в области шельфа изменение прозрачности порядка 1 м позволяет обнаружить изменение солености порядка 0,5‰.

Зависимость интенсивности излучения моря, определяющей оптическую плотность на космических изображениях, от прозрачности вод дает основание искать соотношения между оптической плотностью космических изображений и соленостью. В [5] показано, что для залива Сан-Франциско зависимость $S=f(I)$ можно представить в виде

$$(2) \quad S = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i I_i.$$

Коэффициенты в (2) носят локальный характер. Их уточнение для различных районов моря и для различных сезонов требует совместной обработки судовых данных и космических изображений. Мало вероятно, что зависимость (2) выполняется для любых условий. Как было показано выше, зависимость между соленостью и прозрачностью воды описывается кривой третьей степени. Поэтому можно ожидать, что для района западной части Черного моря соотношение между соленостью и интенсивностью излучения (или оптической плотностью изображений) имеет более сложный вид. Для уточнения этой зависимости необходимо располагать синхронными судовыми и космическими данными. Наши данные, с некоторым приближением, соответствуют этому условию. Ниже приводим некоторые качественные соображения, позволяющие предполагать, что для исследуемого района существует сильная связь между соленостью и оптической плотностью космических изображений.

Для иллюстрации этой идеи будем использовать космические изображения в двух диапазонах — 0,5—0,7 мкм и 0,7—1,0 мкм, полученные 16 и 28 сентября 1982 г. Предварительный анализ показал, что оптическая плотность в спектральном диапазоне 0,5—0,7 мкм, дающем информацию о более толстом поверхностном слое, имеет выраженный градиентный характер.

Дешифрирование космических сканерных изображений сделано при по-

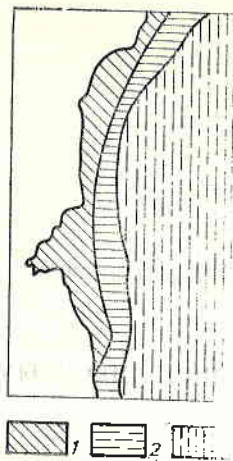


Рис. 3. Схема проникания дунайских вод вдоль западного берега Черного моря (0,5—0,7 дм, 16 сентября 1982)
1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 21; 2 — 23; 3 — 24

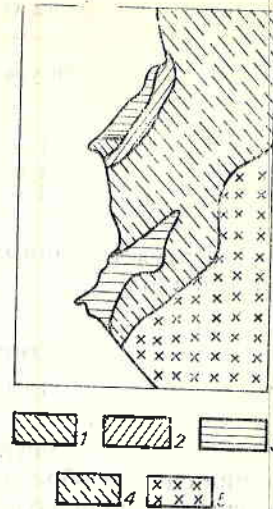


Рис. 4. Схема проникания дунайских вод вдоль западного берега Черного моря (0,5—0,7 дм, 28 сентября 1982)
1 — оптическая плотность изображения в условных единицах — 24; 2 — 26; 3 — 27, 4 — 28, 5 — 29

мощи аналоговой системы для преобразования и интерпретации аэрокосмической видеоинформации, разработанной в ИКИ—БАН [6].

Во время интерпретации необходимо определять площади изображений, имеющих одинаковую оптическую плотность (градации серого фототона). В этом случае каждой градации серого фототона соответствуют признаки яркость, цвет и насыщенность цвета.

Использованная аналоговая система преобразования и интерпретации аэро- и космической видеоинформации включает специализированную камеру, при помощи которой выбирается масштаб и делаются преобразования, квантование и цветовое кодирование полученных изображений как отдельных изображений. Видеосигнал на выходе камеры усиливается, и квантование проводится на 31 уровне. Изображения представлены в трех условных цветах (красном, синем, зеленом), и для каждого цвета значения варьируют с 0 до 31. Полученное композиционное изображение визуализируется на экране цветного монитора.

После обработки космических изображений были составлены карты районов различной оптической плотности в условных единицах (рис. 3), из которых явствует, что в прибрежной зоне оптическая плотность понижена. Это является следствием того, что в данном районе расположены водные массы с пониженной прозрачностью. Они созданы в районе дельты реки Дунай и распространяются в узком пограничном слое вдоль румынского и болгарского побережья. Этот результат находится в качественном соответствии с выводом о понижении прозрачности вод в этих областях, полученном на основе обработки судовых данных.

Резкий градиент оптической плотности, наблюдаемый на рис. 2, является результатом специфической структуры течений в исследуемой области.

Можно ожидать, что его местоположение связано с фронтальной зоной. Как уже упоминалось, в области этой зоны соленость изменяется в диапазоне 17—18‰, или около 5%. Соответствующие изменения оптической плотности космических изображений порядка 10%. В таком случае определение солености по данным космических изображений представляется возможным.

Гидрологические исследования указывают на значительную временную изменчивость полей [4]. Ее можно проследить и при помощи космических изображений. На рис. 4 показана оптическая плотность космического изображения в диапазоне 0,5—0,7 μp , измеренной 28 сентября 1982 г. в относительных единицах. Временной интервал между результатами, показанными на рис. 3 и 4, составляет 12 дней. В целом существующая закономерность (меньшая оптическая плотность изображения в шельфовой области) сохраняется, однако существуют заметные трансформации картины. Это является результатом эволюции гидрологических полей. Определение достаточно надежного соотношения между соленостью и плотностью космических изображений является предпосылкой регулярного составления карт поверхностной солености. Со своей стороны, эволюция поля солености на поверхности моря связана с общей эволюцией термогалинных полей и синоптической изменчивостью исследуемого района. Таким образом, дистанционные методы в сочетании с судовыми измерениями могут внести вклад в расширение познаний о динамике Черного моря.

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

Л и т е р а т у р а

1. Гришвин, 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. П. Распознавание состояния основных параметров телевизионного тракта с целью создания адаптивных ТВ систем. — В: Распознавание образов, 1, Рига, Зинатне, 1974.
3. Мишев, Д. П. Дистанционные исследования на Землях от Космоса. С., БАН, 1981.
4. Блатов, А. С., П. П. Булгаков, В. А. Иванов, А. П. Косарев, В. С. Тужилкин. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря, Л., Гидрометеонздат, 1984.
5. K h o r r a m, S. Remote sensing of salinity in the San Francisco Bay delta. — In: Remote Sensing of Environment, 12, 1982, No 1.
6. M i s h e v, D. N., B. P. P e e v. Electron System for image transformation and coding in conventional colours. — Compt. Rend. Acad. bulg. Sci., 31, 1978, No 11.

Analysis of the salt content in the surface
layers of the Black Sea west regions
on the basis of *in situ* and remote sensing data

D. N. Mishev, E. V. Stanev, L. I. Milenova, N. I. Rachev

(S u m m a r y)

Results connected with territorial and season distribution of the salt content and transparency of sea water in the Black Sea West regions are presented.

On the basis of the BULGARIA-1300 scientific complex on board the METEOR-PRIRODA satellite space images and after respective data processing, values for transparency and salt content of the sea water have been obtained.

These initial results prove the reliability of the approach for distribution of salt content in the visible part of the electromagnetic spectrum.