

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СИНОПТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ В СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ БАССЕЙНЕ

*Е.Н. Воскресенская, Ю.Б. Ратнер,  
Т.М. Баянкина*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: [odmi@alpha.mhi.iuf.net](mailto:odmi@alpha.mhi.iuf.net)

*В работе рассмотрены методические подходы к выделению синоптических образований над Средиземноморским бассейном. В их основе лежит дешифрирование облачного покрова с использованием спутниковых снимков с ИСЗ «Meteosat» в зимний период (1996–2007 гг.) и дополнительной метеоинформации по данным реанализа NCEP. Работоспособность предложенной методики подтверждена сравнением местоположением областей центров Средиземноморских циклонов выделенных по полю облачности и барическим образованиям.*

**Введение.** Циклоны в Средиземноморском регионе часто формируют экстремальные и неблагоприятные погодные условия, приводящие к интенсивным ветрам и штормовому волнению и другим неблагоприятным ситуациям. Изменчивость частоты и интенсивности циклонов в пределах Средиземноморского региона связана с контрастными климатическими условиями. Синоптическая активность над Средиземноморским бассейном активизируется в период с ноября по март месяцы и зимний циклогенез происходит в основном вдоль северного побережья, характеризующихся сильной бароклинностью, это на подветренных склонах Альп, Атласских гор и над Черным морем [1]. Следовательно, важно изучать механизмы, ответственные за генерацию и эволюцию циклонов, это необходимо, чтобы понять их влияние на окружающую среду и описать их изменчивость в связи с глобальными климатическими процессами. Однако одной из причин недостаточной изученности таких циклонов является отсутствие систематических метеорологических наблюдений, особенно над морем. Поэтому, для улучшения качества изучения изменений глобальных метеорологических явлений была использована спутниковая ин-

формация, поступающая с геостационарного ИСЗ «Meteosat». Это позволило дополнить результаты, получаемые традиционным методом и повысить их достоверность. Для реализации такого подхода в поле облачности по спутниковым изображениям выделялись вихревые образования облачности по яркостным и структурным признакам, затем выделялись центры циклонов по приземному давлению по данным реанализа NCEP.

Целью работы является оценка возможности использования спутниковых изображений для идентификации и качественного анализа характеристик циклонов Средиземноморского бассейна, уделяя особое внимание циклонам выходящих на Черноморский регион.

**Характеристика данных.** Для анализа применялись спутниковые изображения облачного покрова с ИСЗ «Meteosat» в период 1996–2007 гг. (ноябрь–март месяцы) в видимом и ИК-диапазонах спектра (1530 и 1650) соответственно, в синоптический срок 12 час. Данные реанализа NCEP (приземное атмосферное давление) использовались с марта 1996–2007 гг. в синоптические сроки 00; 06; 12 и 18 час.

Приведем краткую характеристику принимаемой информации по спутниковым каналам связи. Прием и обработки спутниковой информации получаемой с ИСЗ «Meteosat» проводится в Европейском центре приема и обработки данных в Дармштадте (Германия) и распространяется в общедоступных форматах (WEFAX, LRIT) через спутники по радиоканалам, работающим на частоте около 1.7 ГГц. Информация об энергетической яркости полной земной поверхности с ИСЗ «Meteosat», получаемая с помощью сканирующего радиометра, ведется в следующих диапазонах спектра: видимый (0,4–1,1 мкм); ИК-диапазон (10,5–12,5 мкм); ИК-диапазон поглощения водяных паров (5,7–7,1 мкм) [2].

В МГИ НАНУ с 1996 по 2001 гг. проводился оперативный спутниковый мониторинг полей облачности с ИСЗ «Meteosat» на собственную станцию приема данных, а с 2001 г. прием ведется по сети Internet с сайта: <http://www.sat.dundee.ac.uk>.

Для обработки спутниковых изображений и получения карт облачности использовался специально созданный программный комплекс приема с ИСЗ «Meteosat». Он позволяет обрабатывать, де-

шифровать облачность и выделять центры облачных вихрей.

**Обсуждение и результаты.** В соответствии с инструкцией Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) основные признаки облаков имеют следующую классификацию: *морфологическая* (внешний вид облаков); *генетическая* (процесс их образования); *микрфизическое строение* (вид и размер облачных частиц). Используемая методика позволяет выделять по спутниковым изображениям следующие признаки облачности: *яркость* (тон) и *рисунок* (структура) изображения. Отметим, что яркость изображения определяется освещенностью объекта и зависит от его температуры регистрируемую на ИК-снимках. Следовательно, более светлым тонам соответствует низкая температура верхней границы облаков, а более темным – высокая, по которой различают участки суши или океана. Видимый диапазон спектра характеризуется отражательными свойствами. Различают 10 -12 градаций относительной яркости, которая зависит от высоты вершины облаков, состава и структуры облачных частиц, сплоченности мелкомасштабной облачности, размеры которых меньше элемента разрешения

спутникового снимка (пикселя). Что касается рисунка изображения, то следует напомнить, что эта структура формируется неоднородностями поля яркости различных масштабов, из которых выделяют: *текстуру*, *мезоструктуру* и *макроструктуру*. По текстуре различают *матовую*, *зернистую*, *волокнистую* и *дендритовую*. *Мезоструктура* (мельчайшие элементы облачного покрова) состоит из облачных линий (продольных и поперечных), гряд и ячеек (открытых и закрытых), волнистых облаков, мезомасштабных и вторичных облачных вихрей. *Макроструктура* (облачные системы синоптического масштаба) включает полосы, вихри, облачность внутритропической зоны конвергенции и струйные течения.

С использованием данной методики, рассматривались примеры основных облачных ассоциаций из которых состоят облачные поля циклонов (рисунок 1). При дешифрировании облачности визуально выделялись следующие облачные ассоциации: *слоистообразные*, *перистообразные*, *слоисто-кучевообразные*, *кучевообразные*, *мощные кучевые* и *кучево-дождевые*, а также их различные сочетания [3, 4].

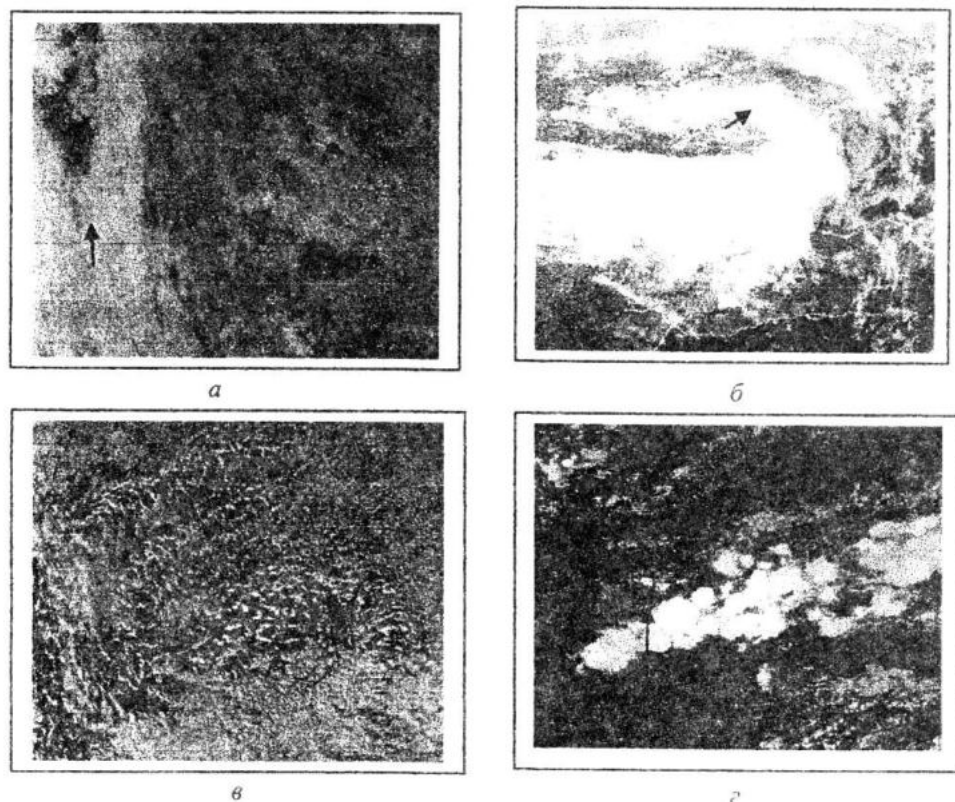


Рисунок 1 – Различные облачные ассоциации: а – слоистообразная (→), перистообразная (↔); б – кучево-дождевая (→); в – слоисто-кучевообразная (→ открытые ячейки), (↔ закрытые ячейки); г – мощная кучевая (→)

Важно при этом, максимально точно распознать все формы облаков.

Основную роль в образовании и эволюции циклонов в Средиземноморском регионе играет взаимодействие между крупномасштабными потоками и мелкомасштабными морфологическими особенностями, с учетом которых возможно выделять облачные вихри представленные различными формами облаков. В работах [5–7] подробно описаны дешифровочные признаки для их выделения на спутниковых снимках. Таким образом, были сформированы крупномасштабные поля облачности Средиземноморского бассейна в зимний период 1996–2007 гг. (ноябрь–март), имеющие характерные региональные особенности, связанные с топографическими условиями.

Из литературы [3, 5, 7] известно, что атмосферные циклоны классифицируются по следующему генетическому признаку: *фронтальные* и *нефронтальные*. Фронтальные циклоны проходят в основном все стадии развития, от появления волны на фронте до стадии максимального развития и окклюдирования. На анализируемых спутниковых снимках показано, что облачность, связанная с центром циклона, выглядит наиболее яркой. Центр облачного вихря совпадает с

центром циклона на той высоте, на которой располагаются верхняя граница облачности. У земной поверхности центр облачного вихря обычно не совпадает с центром циклона и в начальной стадии окклюдирования его центр располагается в юго-восточной части облачного вихря. При дальнейшем перемещении центр циклона смещается относительно центра вихря на северо-восток, причем расстояние между центром циклона и центром облачного вихря не превышает 300 км. Фронтальные циклоны состоят, в основном, из слоистообразных и кучевообразных форм и важным признаком является: сглаженные края облачности с северной стороны и шлейфы перистых облаков, которые указывают на их движение. Такие циклоны перемещаются над морской поверхностью, в их тылу могут появляться вторичные циклоны, которые формируются в районах Западной и Центральной частях Средиземного моря, а также в зоне субтропического фронта. В качестве примера, выделенного нами по полю облачности фронтального циклона, образованного в районе Генуэзского залива, приведен рисунок 2.

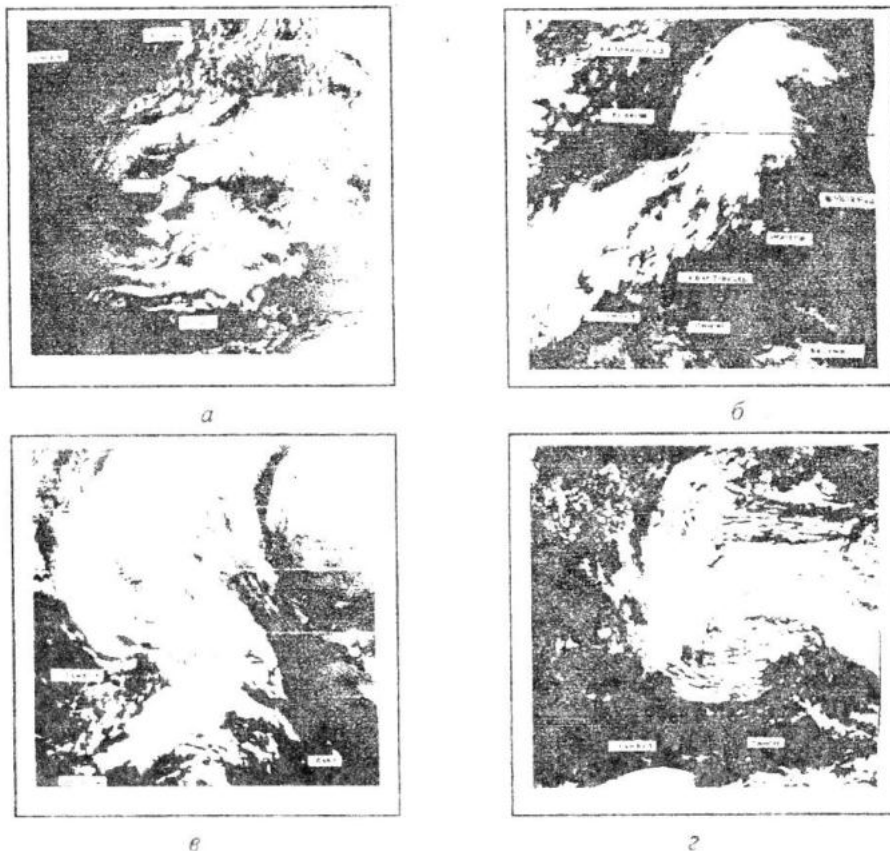


Рисунок 2 – Фронтальный Генуэзский циклон по спутниковым изображениям: а – стадия фронтальной волны 29.02.1988 г.; б – стадия молодого циклона 01.03.1988 г.; в, z – стадия максимального развития и заполняющегося циклона 02.03 - 03.03.1988 г.



На рисунке 3 представлен пример обнаруженного нефронтального циклона, образованного в результате вторжения холодного воздуха на Средиземноморский бассейн. Как видно из рисунка 3а, в районе о-ва Кипр хорошо прослеживается циклонический массив развивающихся кучевых форм облаков на фоне малооблачного неба, не имеющей четкой вихревой структуры. Здесь признаком развития циклона служит наличие выбросов перистых облаков в северной части над кучевыми облаками. Антициклонический изгиб облачной полосы и направление выброса перистых облаков свидетельствуют о смещении циклона к северу. Однако, на

спутниковых снимках не всегда удается проследить вторжение холодного воздуха на восток Средиземноморья, на них эта зона часто отсутствует. Холодные вторжения воздуха сопровождаются прояснениями или образованием кучевых форм и выглядят ярко-белыми пятнами, например на рисунке 3а. Неустойчивость теплой воздушной массы приводит к хорошо развитой облачной системе вдоль фронта, дающей умеренные и сильные осадки (рисунок 3 б, в). Интенсивность процесса облакообразования, размеры и плотность облачной «шапки» зависят от мощности и продолжительности вторжения теплого воздуха в данный район [5].

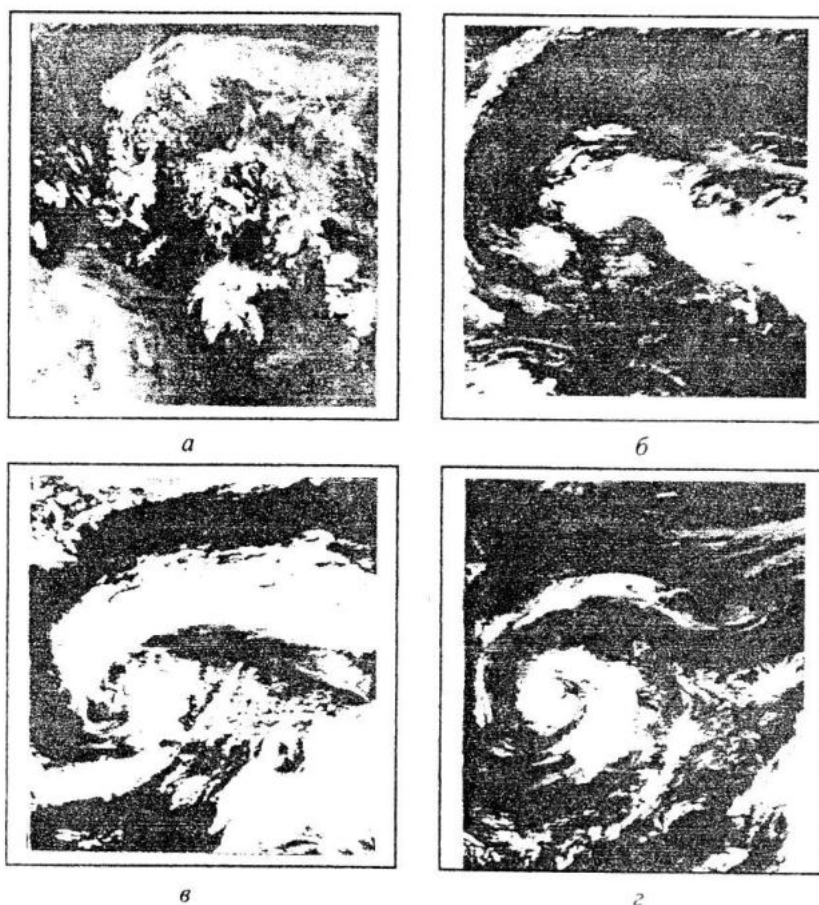


Рисунок 3 – Пример нефронтального Кипрского циклона по спутниковым изображениям: а – скопление кучевых облаков 16.04.1988 г.; б – стадия молодого циклона 17.04.1988 г.; в, г – стадия максимального развития и заполняющегося циклона 18–19.04.1988 г.

На этапе выделения центров облачных вихрей на спутниковых снимках облачности применены описанные выше дешифровочные признаки. Используемый метод носит качественный характер, является субъективным, весьма трудоемок, при этом не исключен от определенных ошибок. Следовательно, важно

оценить истинную величину получаемой ошибки. Ее можно определить с использованием дополнительной метеорологической информации, в данном случае, цифровых одноградусных карт глобального массива реанализа NCEP по приземному атмосферному давлению. Из этого массива был выделен

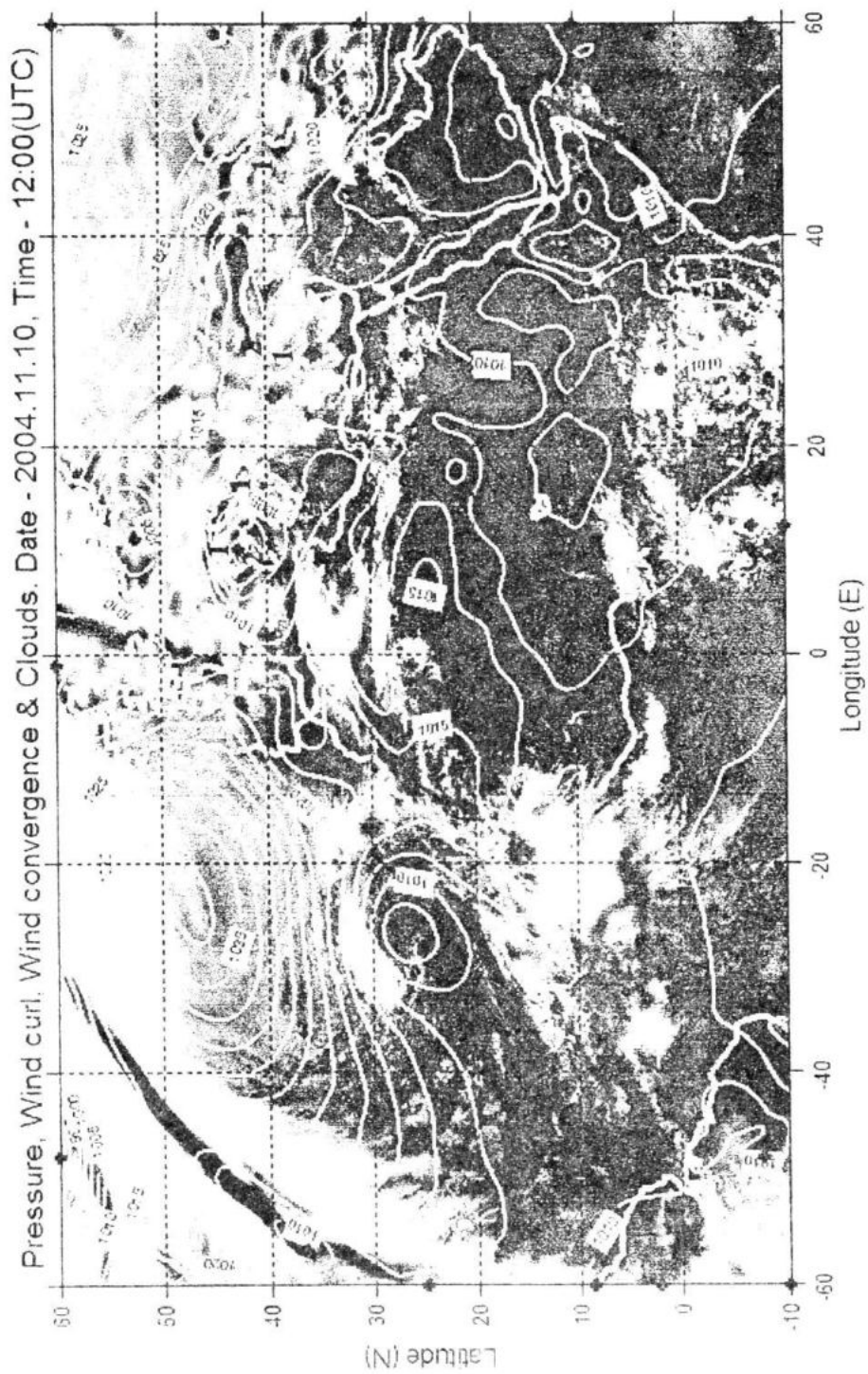


Рисунок 4 – Положение центров облачных вихрей (1) и центров циклонов по данным приземного давления реанализа NCEP (2)

Атлантико-Средиземноморский регион. В основе подходов к выделению центров циклонов по снимкам, в данной работе заложены статистические связи между центрами облачных структур (вихрей) и центрами низкого давления по данным NCEP. В дополнении к этому использована информация о положении зон конвергенции и завихренности поля приземного ветра. В результате были построены композиционные карты, где облачность на ИК-изображениях отображена средствами полутоновой графики. Дополнительно на карту нанесены белым цветом изобары с шагом 2,5 мб, полученные при анализе полей приземного давления по NCEP. Результаты выделения центров вихревых образований, полученных по спутниковым изображениям с использованием данных поля давления NCEP приведен на рисунке 4, из которого видно их хорошее совпадение. Например, в районе Генуэзского залива выделен вихрь по полю облачности, с координатами  $\varphi = 44^\circ$  с.ш.  $\lambda = 10^\circ$  в.д. и обозначен цифрой 1. Центр циклона по полю давления имеет координаты  $\varphi = 42^\circ$  с.ш.  $\lambda = 10^\circ$  в.д. и обозначен цифрой 2. Видно, что их положения полностью совпадают. Расстояние между этими центрами определяется разностью координат и составляет 156 км. Данный циклон находится в стадии максимального развития, атмосферное давление в его центре равно 998,9 мб. Такое же совпадение отмечается и в юго-западной части Черного моря. Они имеют соответственно координаты  $\varphi = 40^\circ$  с.ш.  $\lambda = 29^\circ$  в.д. и  $\varphi = 41^\circ$  с.ш.  $\lambda = 30^\circ$  в.д. и отмечены цифрами 1, 2. Расстояние между этими центрами составляет 180 км, атмосферное давление в центре циклона 1011,2 мб. Таким образом, видно, что совместное использование спутниковых изображений облачности и карт приземного атмосферного давления обеспечивает более высокую надежность выделения центров циклонических образований. Отклонение центров циклонов друг от друга составляет не более 300 км, в таких пределах находится около 72 % анализируемых циклонов.

**Выводы.** Результаты выполненной работы показали, что использование спутниковых изображений позволяет на качественном уровне выделять и анализировать

характеристики циклонов в регионе Средиземноморского бассейна.

Сложностью использования спутниковых изображений заключается в наличии многоступенчатых градаций спектрально-структурных облачных образований.

Реализованные процедуры обработки спутниковых изображений, метеорологических данных со спутников с наложением на них дополнительной метеорологической информации позволяют улучшать надежность определения характеристик полей облачности и уточнять характеристики выделенных средиземноморских циклонов.

Приведенная методика позволит использовать спутниковую информацию для анализа на статистически значимом уровне характеристик Атлантических и Средиземноморских циклонов и их роль в формировании гидрометеорологических условий в Черноморском регионе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. P. Lionello, J. Bhend, U. Boldrin, I.F.Trigo and U.Ulbrich. Climatology of cyclones in the Mediterranean: present trends and future scenarios. // CLIVAR Exchanges, 2006. – Vol. 11. – No 2. – P. 10 – 12.
2. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / Под. ред. А.П. Крэнкелла – М.: Мир. 1984. – 535 с.
3. Е.И. Несмелова. Спутниковая метеорология. – М.: Моск. Университ. 1986. – 115 с.
4. М.А. Герман. Космические методы исследования в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат. 1985. – 351 с.
5. Средиземноморские циклоны в поле облачности / Под. ред. Т.П. Поповой – Л.: Гидрометеоиздат. 1975. – 382 с.
6. Т.М. Баянкина. Средиземноморские циклоны и погодно-климатические аномалии в Черноморском регионе // Сб. «Система контроля окружающей среды», – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – С. 319 – 323.
7. Л.С. Минина. Практика нефанализа / Под. Ред. В.А. Бугаева. – Л.: Гидрометеоиздат. 1970. – 336 с.