

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖГОДОВОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ ОБЛАЧНОСТИ В ЧЕРНОМОРСКО-СРЕДИЗЕМНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

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

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: bayankina\_1@mail.ru

*В работе рассмотрен метод автоматизированного выделения облачности по результатам одноканальных спутниковых измерений в ИК-диапазоне с ИСЗ «Meteosat» в Черноморско-Средиземноморском регионе за период 1984 – 2009 гг., на основе которого создана база данных. Однородность полученной базы данных показана сравнительным анализом с данными наземных наблюдений. Проведен анализ межгодовой изменчивости поля облачности в изучаемом регионе в 1984 – 2009 гг.*

**Введение.** Главной задачей Всемирной метеорологической организации (ВМО) на современном этапе является улучшение предсказуемости климата [1]. При создании климатических моделей одним из наиболее сложных, является блок облачности, что связано с недостаточной изученностью этого параметра. Облачность относится к числу наиболее изменчивых во времени и пространстве метеопараметров, и практически невозможно сведения об облаках, наблюдавшихся в одном районе, распространить на другие районы и считать их репрезентативными. Серьезным вкладом в изучение облачности являются спутниковые наблюдения.

**Источники данных спутниковых наблюдений полей облачности.** Для изучения изменчивости полей облачности в Черноморско-Средиземноморском регионе в МГИ НАН Украины сформирован архив

ежедневных спутниковых данных по облачности из двух источников:

а) за период 1984 – 1990 гг. сформирован архив по ежедневным данным из Международного архива *ISCCP* (<http://isccp.giss.nasa.gov/products/browsed2.html>);

б) за период 1991 – 2009 гг. использован архив ежедневных спутниковых данных в ИК-диапазоне спектра с ИСЗ «Meteosat» из архива Европейской организации по эксплуатации метеорологических спутников (*EUMETSAT*) – <http://www.eumetsat.ini>.

Использование вышеупомянутых архивов обусловлено необходимостью продления ряда данных одного архива другим, поскольку в архиве *EUMETSAT* за 1984 – 1990 гг. отсутствуют данные ИК-изображений.

Для обработки спутниковых изображений из архива за 1991 – 2009 гг. использовался разработанный в МГИ НАН Украины метод автоматизированного выделения количества облачности. Коротко охарактеризуем его. Физические основы выделения облачности по одноканальным спутниковым измерениям заключаются в следующем. Вначале принимается предположение о том, что интенсивность сигнала на принятом спутниковом ИК-изображении –  $T_l$  соответствует ее термодинамической температуре при отсутствии облачности, а при наличии облачности – температуре ее верхней границы. Задача выделения облачности по одноканальным измерениям может быть решена при условии точного знания термодинамической температуры подстилающей поверхности. Величина радиационной температуры  $T_R$  системы подстилающая поверхность – атмосфера определяется при условии, что наблюдаемый участок земной поверхности либо целиком свободен от облачности, либо полностью покрыт облаками в соответствии с соотношением:

$$T_R = B^{-1}(\varepsilon \cdot B(T_S) \cdot P_A + I_A^\uparrow + (1 - \varepsilon) \cdot I_A^\downarrow \cdot P_A), \quad (1)$$

где  $B(T_S)$  – функция Планка;  $\varepsilon$  и  $T_S$  – коэффициент излучения и термодинамическая температура наблюдаемого участка земной поверхности соответственно;  $P_A$  – коэффициент пропускания атмосферы, который зависит от угла наблюдения и распределения температуры и влажности атмосферы по высоте;  $I_A^{\uparrow}$  и  $I_A^{\downarrow}$  – соответственно интенсивность излучения атмосферы и имеет восходящее и нисходящее направления.  $I_A^{\uparrow}$ ,  $I_A^{\downarrow}$  зависят от угла наблюдения, распределения температуры, влажности и облачности по высоте. Коэффициент излучения подстилающей поверхности ( $\varepsilon$ ), изменяется в диапазоне от 0,93 до 1 в зависимости от ее типа, температуры и угла наблюдения. Величина коэффициента пропускания атмосферы  $P_A$  в общем случае лежит в пределах от 0 до 1. Для безоблачной атмосферы она меняется в более узком интервале от 0,6 до 0,95. Для большинства типов облаков величина  $P_A \approx 0$  [2].

**Принципы построения пороговых фильтров облачности по одноканальным измерениям.** Для применения простейшего порогового фильтра необходимо иметь возможность расчета всех величин, входящих в формулу (1).

В условиях, когда пороговый фильтр является единственным средством, используемым для выделения облачности, желательно иметь наиболее гибкие оценки, как величин порогов, так и разностей между величинами радиационных температур, измеряемыми спутниковым радиометром и радиационных температур подстилающей поверхности. Эти обстоятельства заставили нас обратиться к использованию подходов, основанных на статистических методах классификации данных спутниковых измерений. Эти методы основываются на предположении о том, что величины разностей между измеренными радиационными температурами и радиационными температурами земной поверхности группируются в относительно небольшое число скоплений – кластеров, один из ко-

торых соответствует безоблачным условиям, а другие – облачности различных типов, например, как в работе [3].

В дистанционном зондировании Земли из космоса, как правило, рассматриваются задачи классификации облачности по данным, полученным в фиксированный момент времени по большим участкам системы подстилающей поверхности – атмосфера. При этом часто возникают трудности, связанные с пространственной неоднородностью подстилающей поверхности. В задачах анализа климатических полей облачности может быть рассмотрен другой подход, который основан на анализе временных рядов радиационных температур для отдельного, фиксированного на земной поверхности пикселя изображений, полученных за достаточно длительный период времени. Далее вводится предположение о том, что этот ряд может рассматриваться, как независимая выборка из генеральной совокупности распределения некоторой случайной величины. При этом задачи классификации и определения порогов фильтрации облачности решаются независимо для каждого рассматриваемого пикселя и влияние эффектов пространственной неоднородности сводится к минимуму. Именно такой подход реализован в предлагаемой работе. Напомним, что реализация предлагаемых подходов требует какой-то оценки величины радиационной температуры в любом пикселе изображения, полученного для любого момента времени, которая наблюдалась бы в безоблачных условиях, при неизменности всех других метеорологических параметров. Получение таких оценок, без расчетов на основе использования метеоданных и радиационных моделей представляет собой нетривиальную задачу. Без ее решения предлагаемые нами подходы неприемлемы. Поэтому ниже мы рассмотрим способы получения подобных оценок непосредственно по данным измерений.

**Оценка радиационной температуры для безоблачных условий.** Поскольку не предполагается использование расчетных методов оценки радиационной температуры для безоблачных условий, единственной возможностью является привлечение самих данных измерений, извлекаемых

из спутниковых снимков. С этой целью, был выполнен анализ временной изменчивости радиационной температуры для пикселей изображений с фиксированными географическими координатами за один год. Пример временного ряда радиационной температуры для пикселей изображений в центре одного квадрата с координатами  $2,5^{\circ}$  з.д. и  $32,5^{\circ}$  с.ш., полученных в 2002 г. показан на рис. 1 а). Из рис. 1а видно, что радиационная температура имеет существенную временную изменчивость. Характерными особенностями ее временного ряда является наличие резких высокочастотных колебаний радиационной температуры модулированных отчетливо выраженной верхней огибающей. Эта особенность является ключевым обстоятельством для предлагаемого нами

подхода к оценке радиационной температуры для безоблачных условий.

Мы предполагаем, что верхняя огибающая соответствует гипотетическим измерениям, выполненным в безоблачных условиях. Следовательно, поставленная задача может быть сведена к нахождению верхней огибающей временных рядов радиационных температур для пикселей изображений, имеющих фиксированные географические координаты [4 – 5].

Для иллюстрации работоспособности предлагаемого подхода продемонстрируем пример решения поставленной задачи для второго квадрата ( $22,5^{\circ}$  с.ш. –  $37,5^{\circ}$  в.д.), (рис. 1б). На рис. 1б представлен график, построенный по результатам обработки изображений за 2002 г. показывающий принципиальную возможность применения предложенного подхода для решения поставленной задачи.

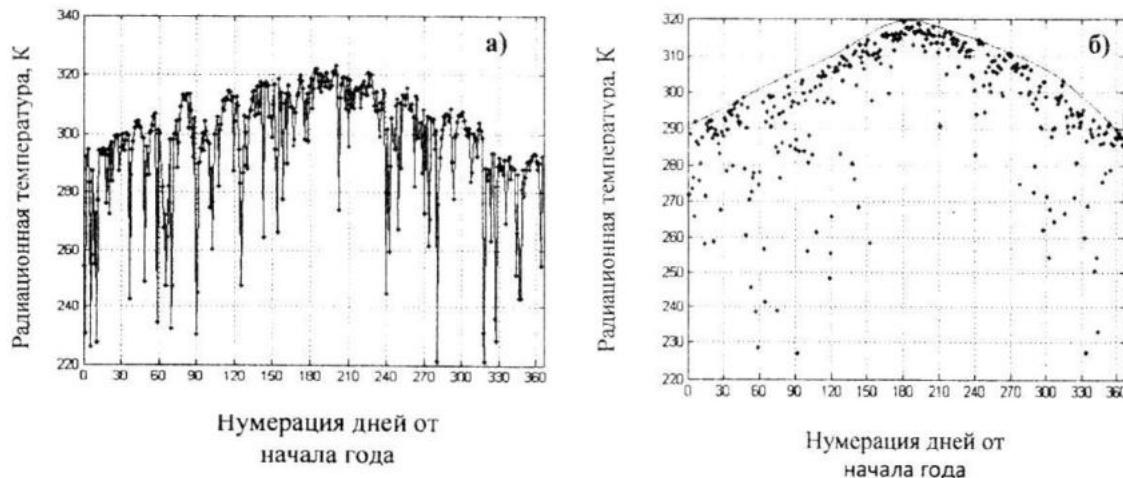


Рис. 1. Примеры временного ряда радиационной температуры (а) и параметризации верхней огибающей (б) для пикселей изображений в квадратах с координатами:  
а) –  $2,5^{\circ}$  з.д. и  $32,5^{\circ}$  с.ш.; б) –  $22,5^{\circ}$  с.ш. –  $37,5^{\circ}$  в.д за 2002 г.

**Оценка среднемесячных значений облачности по пятиградусным квадратам.** Опираясь на материал, изложенный выше, проведена оценка среднемесячных величин облачности.

Для заданного пятиградусного квадрата выбран набор пикселей изображений, по которым оценивался среднемесячный балл облачности на регулярной сетке с шагом  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  по широте и долготе (100 пикселей на каждый квадрат). Для каждого выбранного квадрата:

а) сформирован временной ряд радиационных температур за период наблюдений 2002 г. с использованием ежедневных спутниковых снимков полученных с 11:00 до 12:00 UTC. Всего 357 величин радиационных температур;

б) проведен расчет верхней огибающей радиационных температур;

в) сформирован временной ряд разностей радиационных температур  $\Delta T$ ;

г) для выделения облачности, по величине разностей радиационных температур  $\Delta T$  применялся наиболее гибкий метод

классификации *FlexMix* на основе *EM*-алгоритма [3] и простейший пороговый фильтр, рассмотренный в ряде работ, например [6]. Для всех пикселей, выбранных в пределах заданного пятиградусного квадрата, и всех моментов времени, находящихся в пределах одного месяца, оценено число наблюдений классифицированных, как облачные –  $N_c$ , полное число наблюдений –  $N$  и средний балл облачности –  $C = 10 \cdot N_c / N$ . Для сравнения результатов, получаемых с помощью рассматриваемых фильтров облачности в качестве эталона использована

ны данные архива *ISCCP* [7]. Сравнение выполнено на основе сопоставления средних величин и среднеквадратичного отклонения (с.к.о.) балла облачности от их эталонных значений для 55 квадратов, покрывающих Черноморско-Средиземноморский регион, для 12 месяцев 2002 г. Полный объем выборки, составленной из величин индивидуальных отклонений, составил 660 значений. Результаты сопоставления приведены в табл. 1 и показывают преимущества используемого метода *FlexMix* – перед простейшим пороговым фильтром.

Таблица 1

Средние значения ( $\mu$ ) и среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ) при сравнении методов простейшего порогового фильтра  $|\Delta T_R| < 10$  К и *FlexMix*

| Метод    | $ \Delta T_R  < 10$ К | <i>FlexMix</i> |
|----------|-----------------------|----------------|
| $\mu$    | -0,19                 | -0,12          |
| $\sigma$ | 1,00                  | 0,82           |

**Сопоставление архивов спутниковых и наземных данных облачности.** При совместном анализе различных архивов возникают проблемы, связанные с их пространственно-временным согласованием и их взаимосвязью. Для проверки качества и однородности спутникового архива, полученного автоматизированным методом в МГИ НАН Украины, проведен корреляционный анализ данных за 2002 г. в синоптический срок 12 час, с данными следующих архивов: *ISCCP*, интерактивным (визуальным), полученным методом дешифрирования и *SYNOP* (наземные наблюдения на метеостанциях).

Спутниковый архив облачности *ISCCP* включает в себя полярно-орбитальные (ПС) «NOAA» и геостационарные спутники (ГС) (*GMS-Geostationary Meteorological Satellite*, *Meteosat* – *European Meteorological Satellite*, *Instant – Indian Satellite*, *MTSAT-IR* – *Japan Multi-functional Transport Satellite*) [8]. Облачность измеряется в двух спектральных каналах – видимом ( $\lambda = 0,6$  мкм) и ИК ( $\lambda \sim 11$  мкм), временное разрешение составляет 3 ч (8 синоптических сроков), пространственное 4 – 7 км (размер пикселя),

при этом каждый пикセル определяется либо облачным, либо безоблачным пространством.

Данные архива *ISCCP* серии *D2* представлены среднемесячными значениями характеристик облачности на регулярной сетке  $2,5 \times 2,5^\circ$ , погрешность этих данных не превышает 5 % [8].

Архив наземных данных облачности *SYNOP* (<http://meteo.infospace.ru/win/wcarch/html/>) включают в себя первичные наблюдения за облачностью на метеорологических станциях, согласно метеорологического кода КН-01. Данные количества облачности выбирались в каждом квадрате ( $5 \times 5^\circ$ ) в ближайших точках к узлам географической сетки по 55 метеостанциям [9].

Архив спутниковых данных облачности, полученный методом дешифрирования (визуальный) достаточно подробно освещен в работе [10].

Сопоставление коэффициентов корреляции среднегодовых значений количества облачности, проводилось методом попарного сравнения данных архивов, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициент корреляции значений среднегодового количества облачности между архивами для Черноморско-Средиземноморского региона, 2002 г.

| Параметр               | Архивы                |                           |                       |                  |                      |                      |
|------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|------------------|----------------------|----------------------|
|                        | Автоматич. /<br>ISCCP | Автоматич. /<br>Визуальн. | Автоматич.<br>/ SYNOP | ISCCP /<br>SYNOP | ISCCP /<br>Визуальн. | Визуальн. /<br>SYNOP |
| Коэффициент корреляции | 0,90                  | 0,89                      | 0,82                  | 0,90             | 0,88                 | 0,83                 |

Из табл. 2 видно, что коэффициент корреляции среднегодовых значений количества облачности между архивами в составляет 0,82 – 0,9. Однако, над поверхностью Средиземного и Черного морей он достигает 0,9 – 0,95, а над сушей 0,6 – 0,75. Вероятнее всего, это объясняется специфическими особенностями географического положения Черноморско-Средиземноморского региона, теплофизическими и сезонными свойствами подстилающей поверхности, это проявляется при автоматизированном методе выделения облачности.

Коэффициент корреляции среднемесячных значений количества облачности в ноябре-декабре составляет 0,96, а в апреле 0,73.

Результаты расчета среднеквадратических отклонений (с.к.о.)  $\sigma_n$  по широтам и месяцам за 2002 г. показали, что отклонения (при попарном сравнении архивов, в соответствии с табл. 2) составляют в среднем 0,7 – 1,1 балла, причем, данные спутниковых наблюдений превышают наземные на метеостанциях от 0,9 до 1,5 баллов, как представлено на рис. 2.

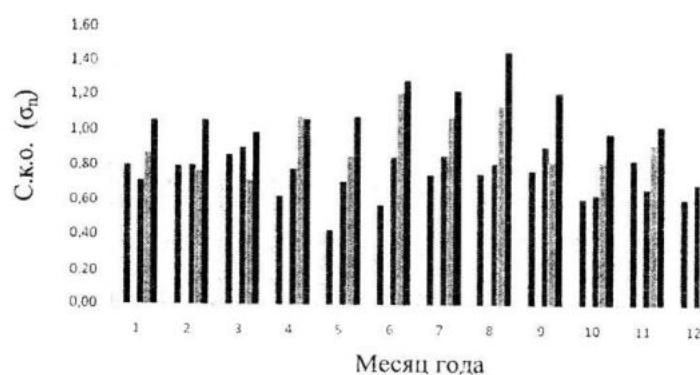


Рис. 2. Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma_n$ ) количества облачности (по месяцам) за 2002 г. между архивами (попарное сравнение архивов в соответствии с табл. 2)

Однородность ряда данных архива также зависит от погрешностей среднемесячных значений количества облачности между данными архивов, которая заключается в их разности. В течение года в квадратах ( $5 \times 5^{\circ}$ ) она составляет  $\pm (0,2 - 1,5$  балла). Исключение составляет квадрат, расположенный над пустыней Сахара, где разность достигает 1,9

балла. Разность количества облаков между архивами в каждом квадрате по зонам (широтам) показала, что в широтной зоне  $25 - 30^{\circ}$  с.ш., представленной однородной подстилающей поверхностью пустыней Сахара, она составляет 0,2 – 0,5 балла в зимние и летние месяцы, а в весной от 1,4 до 1,7 баллов. В широтной зоне  $30 - 45^{\circ}$  с.ш. подсти-

лающая поверхность представлена как Средиземным и Черным морями, так и горными массивами. В течение года в этой зоне наземные наблюдения завышены над спутниковыми. Над морской поверхностью они находятся в пределах 0,1 – 0,8 балла, а над сушей составляют 1,2 балла. Широтная зона 45 – 50 ° с.ш., в основном представленная горными массивами, где наземные наблюдения превышают спутниковые данные среднем на 0,2 – 0,7 балла. Наибольшая разность количества облачности составляет между архивами (Автоматич. / *SYNOP*) 1,4 – 1,6 баллов [10].

Погрешности оценок облачности по спутниковым данным определяются главным образом особенностями схемы детектирования (*detection* – обнаружение) облачности. Кроме того, при наблюдениях поверхности под углами, отличными от вертикального, в поле зрения прибора могут попадать не только вершины, но и боковые стороны облаков, результатом чего является переоценка балла облачности. Погрешности определения облачности по данным наземных наблюдений обусловлены субъективностью оценок облачного покрова. Дополнительная погрешность возникает из-за использования восьмибалльной шкалы, в соответствии с которой осуществляется кодирование данных о количестве облачности в телеграммах *SYNOP*. На различие спутниковых и наземных оценок количества облачности могут оказывать влияние пространственные масштабы. Так, масштаб осреднения спутниковых данных облачности фиксирован, а область обзора небосвода наземным наблюдателем при определении количества облачности является переменной и зависит от типа облачности и высоты ее нижней границы [1, 10].

Согласно разработанным документам и требованиям ВМО, а также программ *WCRP* (*World Climate Research Programme*), *GCOS* (*General Comprehensive Operating System*), допустимыми по баллу облачности считаются погрешности 5 – 20 % (2,0 – 3,0 балла). Причем, следует считать совпадение спутниковых оценок с наземными идеальными до 2,0 баллов, а погрешности до 3,0 баллов – приемлемыми [11]. Таким образом, созданный архив

данных количества облачности, полученный автоматизированным методом, представляет собой однородный ряд, что позволяет проводить климатические исследования как глобальных, так и региональных облачных полей.

**Среднемесячный балл облачности в Черноморско-Средиземноморском регионе в период 1984 – 2009 гг.** Отличительной особенностью облачного покрова Средиземноморья является большая пространственная неоднородность и некоторая хаотичность. Правильные облачные структуры встречаются редко [12], на что оказывает влияние подстилающая поверхность. Особенно сильно отличаются теплофизические и радиационные свойства над сушей и морем. С учетом этих различий горизонтальная разность температур между сушей и морем путем турбулентного, радиационного и конденсационного теплообмена распространяется в атмосферу. Возникающая при этом горизонтальная бароклинность (геострофическая адвекция) создает условия для образования и последующего развития синоптических вихрей, которые и оказывают непосредственное влияние на формирование поля облачности. Среднемесячная изменчивость облачности в Средиземноморском бассейне является важной характеристикой для использования этих данных в климатических моделях и при изучении межгодовой ее изменчивости.

В период 1984 – 2009 гг. среднемесячное количество облачности увеличивается от лета к зиме. Так, в июле – августе по всему Средиземноморью облачность составляет от 1,0 до 3,5 баллов, а над Черным морем, Балканским и Пиренейским полуостровами она составляет 4,0 – 5,5 баллов. В сентябре – ноябре количество облаков над регионом увеличивается от 5,0 до 6,5 баллов. В зимние месяцы над большей частью Средиземного и Черного морей появляются области с максимальной облачностью (6,0 – 8,0 баллов). С марта количество облаков уменьшается над югом бассейна и составляет 3,0 – 4,5 балла, а над Черным и Адриатическим морями, Аппенинским и Малоазиатским полуостровами облачность повышается до 7,0 баллов. Такое распределение облачности над регионом объясняется в основном тем, что горные

хребты создают условия для скопления облачных масс. Облачные системы, связанные с атмосферными фронтами, также располагаются вдоль этих хребтов.

Для примера на рис. 3 *a,b* представлены карты среднемесячного распределения количества облачности за период 1984 – 2009 гг. для января и июля.

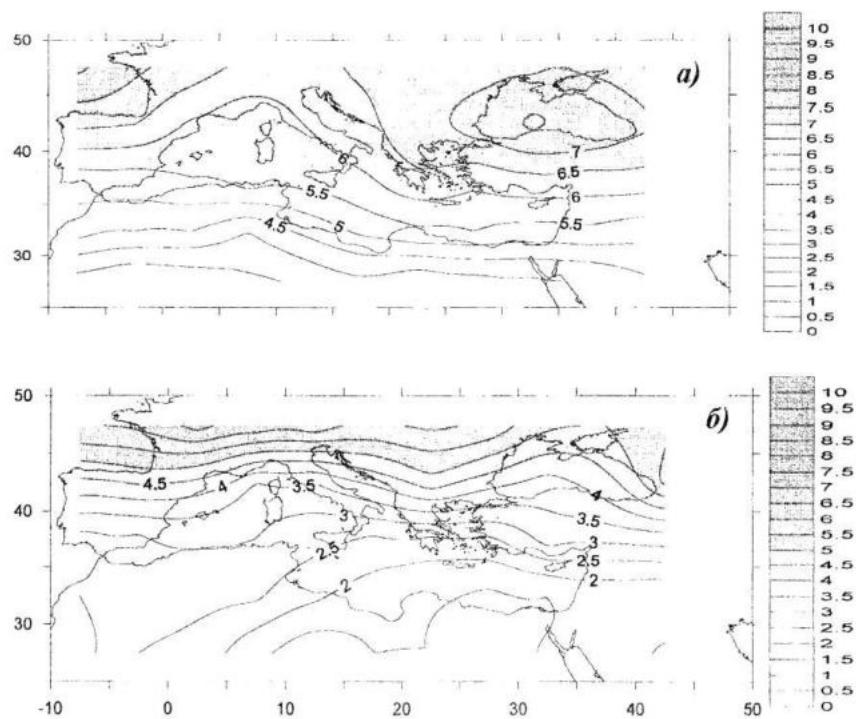


Рис. 3. Карты среднемесячных значений количества облачности (шкала – балл) над Черноморско-Средиземноморским регионом в период 1984 – 2009 гг.  
а) – январь; б) – июль

Среднеквадратические отклонения среднемесячных значений количества облачности с марта по май и в сентябре составляют (0,3 – 0,5), в ноябре–январе (0,7 – 0,8), а в феврале и с июня по декабрь – (0,6 – 0,7). Полученные нами данные хорошо согласуются с данными других авторов, например [9], где было отмечено, что годовой ход количества облачности тесно связан с годовым ходом циклонической активизацией циклоногенеза над Средиземным морем, а уменьшение ее летом совпадает с ослаблением циклонической деятельности.

Для исследования межгодовой изменчивости поля облачности был проведен корреляционный анализ нормированной аномалии количества облачности с целью исключения пространственной неоднородности и колебаний во времени средних значений. Получено, что в холодное полугодие (октябрь – февраль) над Средиземноморским бассейном преобладает положительная аномалия, а отрицательная аномалия расположена над районами Северной Африки. В декабре-

феврале наибольшая аномалия 1,2 – 1,4 расположена над Черным морем и Балканами, а в октябре–ноябре в этих районах аномалия составляет 0,6 – 0,8. В марте положительная аномалия 0,1 – 1,4 расположена над Западным и Центральным Средиземноморем, а отрицательная – на востоке, в районе о. Кипр. В апреле – мае отрицательная аномалия (1,4) смешена к югу Тирренского моря и охватывает центральную и юго-восточную части бассейна. В июне–сентябре отрицательная аномалия (1,2) располагается над Центральным и Восточным Средиземноморем, а положительная (1,2) – над Пиренейским, Балканским полуостровами, Западным Средиземноморем и Черным морем. Среднегодовая повторяемость балла облачности по градациям выглядит следующим образом. Средняя повторяемость максимального балла облачности (6,0 – 8,0 баллов) с января по март составляет 58,9 %, максимальное ее количество приходится на апрель (88,5 %). На градацию 4,0 – 5,0 баллов с ноября по февраль в среднем приходится

62,3 %, максимальное количество наблюдается в июне и октябре (88,5 %). Градация повторяемости минимального балла облачности 2,0 – 3,0 балла в июле составляет (57,7 %), в августе (69,2 %), а с октября по май она не наблюдается. Следовательно, облачность от зимы к лету – убывает.

**Межгодовые изменения поля облачности над регионом в период 1984 – 2009 гг.** Межгодовые значения балла облачности были вычислены из среднемесячных значений количества облаков. В результате анализа выявлено, что количество облачности в зимний период с 1984 г. по 1988 г., составляло 5,5 – 6,6 балла, но в январе и феврале 2008, 2009 годах она повысилась до 7,5 баллов. В апреле количество облачности понижается от 5,2 до 6,2 баллов, но в 1999 г. она уменьшилась до 4,7 балла. Наибольшее количество облаков наблюдается в мае 1987 и 1998 годах до 6,3 – 7,0 баллов, а в остальные годы она составляет 4,7 – 5,7 балла. В июне в 1986, 1987, 1988, 1989, 1997, 1998 годах составляет 4,5 – 5,2 баллов. В июле-августе количество облаков в 1985, 1991, 1992, 1998, 1999, 2008, 2009 годах составляла от 2,2 до 3,5 баллов, исключением был 2006 г., где она повысилась до 5,8 баллов. С октября по декабрь она составляла 4,0 – 6,5 баллов, однако повышение ее до 7,6 баллов наблюдалось в 1999, 2006 и 2008 годах.

**Влияние Северо-Атлантического колебания (САК) и Эль-Ниньо-Южного колебания (ЭНЮК) на пространственно-временную изменчивость облачности.** Для оценки влияния САК на изменчивость облачности в Черноморско-Средиземноморском регионе проводился корреляционный анализ среднемесячных величин облачности в квадратах ( $5 \times 5^{\circ}$ ) и индекса САК за период 1983 – 2009 гг. Получено, что наибольший положительный коэффициент корреляции (0,53) отмечается в декабре над Центральным Средиземноморьем, в январе он составляет 0,67. В июле влияние САК на Средиземноморский бассейн незначительное и только над Пиренейским полуостровом коэффициент корреляции достигает 0,5. Наибольшее влияние САК с отрицательными знаками коэффициентов корреляции наблюдается в феврале (0,68) фактически по всему

Средиземноморскому бассейну, а в ноябре его влияние распространяется в основном на Восточное Средиземноморье и коэффициент корреляции составляет 0,63. Это связано с фронтальной и циклонической деятельностью в данных районах, где формируются циклоны в зимние месяцы.

Известно, что в положительную fazu САК, когда хорошо выражен зональный перенос в атмосфере и циклоническая деятельность в северных широтах между Исландией и Гренландией повышена. Следовательно, в пределах северной периферии полярного фронта повышена частота появления циклонов. В отрицательную fazu САК, при ослаблении зонального переноса в атмосфере, когда интенсифицируется полярный фронт в атмосфере Северной Атлантики, возрастает циклоническая активность на юге Европы и Средиземноморском бассейне. Тогда статистически значимая связь между ними наиболее сильна в зимневесенние месяцы (декабрь-апрель) и достигает по модулю 0,6 – 0,8. В летние месяцы (июль-август), коэффициент корреляции значим в зоне ( $25 - 35^{\circ}$  с.ш.), где количество облачности минимальное (1,5 – 3,0 балла).

Взаимосвязь атмосферной циркуляции над Европой и событиями ЭНЮК рассматривалась, например, в работе [12]. Было отмечено, что для лет с Эль-Ниньо характерен циклонический тип циркуляции над Европой, влияющий на распределение облачных полей. В настоящей работе влияние ЭНЮК на поле облачности над Средиземноморским бассейном оценивалось по значениям коэффициентов корреляции между индексом Южного колебания (ЮК) и среднемесячными значениями балла облачности в холодное время года (ноябрь-декабрь) в период 1984 – 2009 гг. с запаздыванием от 1 до 7 мес. Коэффициент корреляции в ноябре достигает (+0,5) при запаздывании относительно тихоокеанского сигнала на 7 месяцев и отмечен над Генуей. Коэффициент корреляции (-0,5) отмечается для марта с запаздыванием на 1 месяц над югом Средиземноморского бассейна и Северной Африкой, как показано на рис. 4.

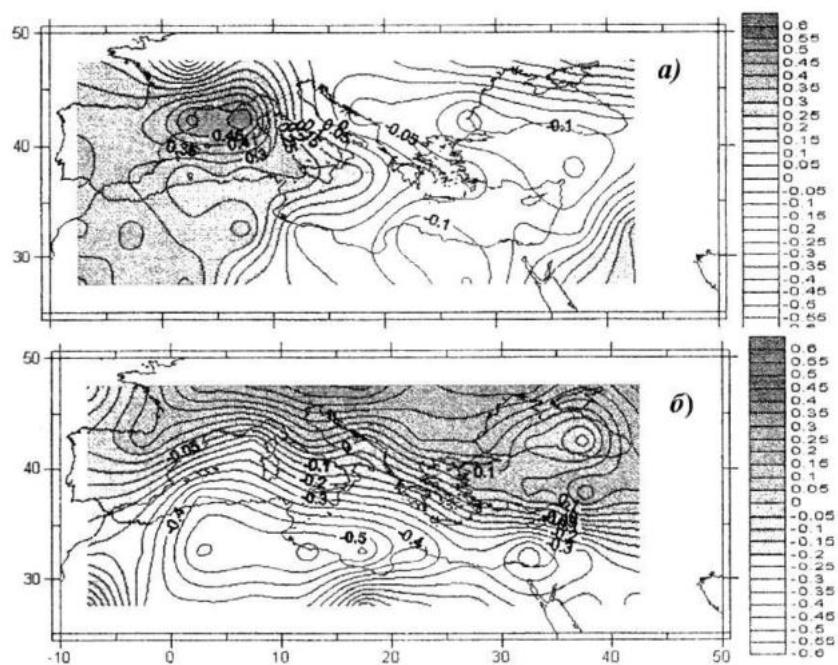


Рис. 4. Коэффициент корреляции (шкала справа) ИОК за период 1984 – 2009 гг. а) – в ноябре с запаздыванием сигнала на 7 мес. над Генуей (до + 0,5); б) – в марте с запаздыванием сигнала на 1 мес. на юге Средиземноморского бассейна и Северной Африкой (до – 0,5)

**Выводы.** Анализ исследования межгодовой изменчивости поля облачности в Черноморско-Средиземноморском регионе по данным спутниковых наблюдений показал:

- преимущества автоматизированного метода FlexMix для выделения количества облачности по спутниковым снимкам перед методом простейшего порогового фильтра;
- высокое качество полученной базы данных облачности. Коэффициенты корреляции среднегодовых значений количества облачности в архивах составляют 0,9 – 0,95 над поверхностью Средиземного и Черного морей, а над сушей 0,6 – 0,75;
- разность количества облачности между архивами в широтных зонах над однородной поверхностью суши наименьшая в зимние и летние месяцы (0,2 – 0,5 баллов), а в переходные сезонные месяцы (март-апрель) она возрастает до 1,7 балла. Над морской поверхностью она составляет 0,1 – 0,8 балла, причем, наземные наблюдения превышают спутниковые данные. Согласно документам и требованиям ВМО, а также программ WCRP, GCOS, полученные результаты считаются допус-

тимыми. Следовательно, созданная база данных на основе представленной автоматизированной методики выделения облачности содержит однородные данные;

– максимальный среднемесячный балл облачности 70 – 8,0 баллов) приходится на зимние месяцы (ноябрь-февраль), а минимальный – (2,0 – 3,0 балла) наблюдается в июле-августе;

– межгодовое распределение количества облачности в различные годы показало, что зимой она увеличивается от 7,6 до 8,4 баллов, затем весной она убывает до 4,7 балла. В летние месяцы она понижается до 1,9 балла, а к осени опять увеличивается до 7,6 балла. При этом амплитуда изменений количества облачности составляет до 3,0 балла;

– среднеквадратические отклонения в течение года в марте, мае и сентябре составляют (0,3 – 0,5), с ноября по январь – (0,7 – 0,8), а в феврале, июне – декабре – (0,6 – 0,7);

– повторяемость максимального балла облачности (6,0 – 8,0 баллов) в апреле составляет 88,5 %, минимальный – (2,0 – 3,0 балла) на июль и август приходится 57,7 % и 69,2 % соответственно.

– наибольшее влияние САК проявляется в зимние месяцы, особенно в феврале, максимальные величины коэффициента корреляции достигают (-0,5) над Черным морем и (-0,68) над Центральным Средиземноморьем;

– отклик поля облачности Черноморско-Средиземноморского региона на ЭНЮК с запаздыванием на 1–7 месяцев отмечается в холодный период. Максимальный коэффициент корреляции в ноябре (+ 0,5) с запаздыванием сигнала на 7 месяцев отмечен над Генуей, а коэффициент корреляции – в марте (- 0,5) с запаздыванием на 1 месяц наблюдался над югом Средиземноморского бассейна и Северной Африкой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальное поле облачности. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1986. – 279 с.
2. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – С-Пб: Гидрометеоиздат. – 2000. – 778 с.
3. Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности. – М.: Финансы и статистика. – 1989. – 450 с.
4. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир. – 1976. – 559 с.
5. Лбов Г.С., Старцева Н.Г. Логические решающие функции и вопросы статистической устойчивости решений – Новосибирск: Институт математики. – 1999. – 212 с.
6. Arnout Feijt, Paul de Valk, and Sibbo Van Der Veen. Cloud Detection Using Meteosat Imagery and Numerical Weather Prediction Model Data // J. Of applied Meteorology. – 2000 . – V. 39. – P. 1017 – 1030.
7. Чернокульский А.В., Мохов И.И. Сравнительный анализ характеристик глобальной и зональной облачности по различным спутниковым и наземным наблюдениям // Исследование Земли из космоса. – 2010, № 3. – С. 12 – 29.
8. Rossow W.B., Garder L.C. Cloud detection using satellite measurements of infrared and visible radiances for ISCCP // J. Clim. – 1993. – V. 6. – P. 234 – 2369.
9. Попова Т.П. Некоторые параметры циклонических облачных вихрей / В кн.: Интерпретация и использование спутниковых данных в анализе и прогнозе погоды // Тр. Гидрометеоцентра. – М.: Гидрометеоиздат. – 1971. – Вып. 73. – 147 с.
10. Толмачева Н.И. Мониторинг облачного покрова для решения задач региональной климатологии // Науч. журн. Перм. ун-та / Гидрология и метеорология. – Пермь. – 2005. – № 1-2. – С. 89 – 99.
11. Тимофеев Ю.М. Глобальная система мониторинга параметров атмосферы и поверхности. – С-Пб: Государственный университет. – 2010. – 129 с.
12. Wilby R. Evidance of ENSO in the synoptic clivate of the British Isles since 1880 // Weather. – 1993. – V. 48. – P. 234 – 239.