

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛЯ ОБЛАЧНОСТИ НАД СРЕДИЗЕМНОМОРСКИМ РЕГИОНОМ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

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

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

В работе рассмотрена методика приема и обработки спутниковых изображений облачности с ИСЗ «Meteosat» над Средиземноморским бассейном в январе месяце (1997–2006 гг.). Выполнена классификация типов облаков и проведен анализ изменчивости среднемесячных и межгодовых значений количества облаков. Рассмотрена роль крупномасштабной циркуляции атмосферы на климат Средиземноморского бассейна.

Введение. Исследование изменчивости полей облачности как одного из важнейших элементов обратных связей климатической системы занимает важное место в современных исследованиях. Создание базы спутниковой информации значительно расширяет возможности таких исследований, поскольку позволяет изучать как формы и структура облачных образований, так и их эволюцию и перемещение на больших пространствах. Средиземное море является важным климатообразующим регионом, в том числе и для Черного моря и юга Украины. Целью настоящей работы является исследование изменчивости поля облачности над Средиземноморским регионом на основе сформированного архива параметров облачности за 10 лет с 1997 по 2006 гг. Данные по облачности получены по спутниковым изображениям с использованием созданной методики цифрового представления пространственно-временного распределения количества и типов облаков над Средиземноморским регионом.

Используемые данные и методика обработки. Для формирования архива характеристик облачности использованы ежедневные данные спутниковых изображений (250 снимков) с ИСЗ «Meteosat» в ИК-диапазоне спектра в период 1997–2006 гг. в

холодную половину года с ноября по март месяцы за синоптический срок 12 час.

Прием и обработка спутниковой информации, получаемой с ИСЗ «Meteosat» проводится в Европейском центре приема и обработки данных EUMETSAT в Дармштадте (Германия) и распространяется в общедоступных форматах (WEFAX, HRIT – Meteosat 1–7; LRIT, HRIT Meteosat – 8, 9) через ретрансляционные радиоканалы спутников Meteosat, работающие на частоте 1,7 ГГц [1]. Однако особенности приема и обработки спутниковых изображений с ИСЗ «Meteosat» заключались в организации приема и обработки большого объема данных. В связи с этим в МГИ НАНУ на протяжении 20 лет проводилась разработка собственных и адаптация зарубежных средств приема, обработки, хранения и распространения спутниковых изображений, передаваемых по ретрансляционным каналам. В 1996 г. в МГИ НАНУ был разработан программно-аппаратный комплекс METEOSAT («ПАК METEOSAT»), позволявший обрабатывать снимки ИСЗ «Meteosat» передаваемые в формате WEFAX. Функциональные возможности этого комплекса более подробно описаны в работе [2]. Особенностью этого ПАК являлась высокая степень унификации программных и аппаратных средств, их совместимость с каналами и форматами передачи опорных метеоданных, что обеспечивало возможность их комбинирования со снимками ИСЗ «Meteosat». Однако вся принимаемая им исходная информация передавалась по аналоговым радиоканалам, которая не могла быть введена непосредственно в ЭВМ. Поэтому было осуществлено преобразование аналоговой информации в цифровую форму, которая осуществлялась специально разработанными буферизованными интерфейсами, работающими непосредственно под управлением ЭВМ [2]. Главное достоинство разработанных интерфейсов, по сравнению с другими аналогичными, состоит в том, что в них использован ряд оригинальных решений, часть которых защищена авторскими свидетельствами [3]. Это позволило добиться значительного повышения качества оцифрованной информации. При приеме спутниковых изображений облачности в период с 1996 по 2000 гг. полученная информация проходила ряд этапов предварительной и тематической обработки в полуавтоматическом режиме. Вначале спутниковые изображения принимались и обрабатывались отдельно по сек-

торам (6 секторов), перекрывающих район с координатами от 20° ю.ш. до 70° с.ш. и от 72° з.д. до 72° в.д. Программный комплекс позволял трансформировать форматы спутниковых изображений, переводить данные в различные форматы хранения изображения, проводить географическую привязку по имеющимся маркерам на изображениях и их фильтрацию, удалять исходную береговую линию, наносимую на снимки в центре обработки EUMETSAT. На заключительном этапе из трансформированных шести изображений секторов формировалось одно композиционное изображение, полностью покрывающее указанный район. Пространственное разрешение спутниковых изображений равно 10×10 км [2].

С 2001 г. в МГИ НАНУ прием спутниковых изображений выполняется с использованием сети Internet (<http://www.sat.dundee.ac.uk>). Обработка спутниковых изображений ведется с помощью модернизированной версии созданного программного комплекса. Модернизация в основном касается доработок, направленных на обеспечение возможности ввода изображений новых форматов. С этой целью в программный комплекс добавляются программные модули, обеспечивающие ввод и конвертацию новых форматов снимков во внутренние форматы и последующее их использование в «ПАК METEOSAT». Динамика облачного покрова ведется по серии ежедневных спутниковых снимков в полосе поглощения водяного 0,7–7,1 мкм. Для оценки облачных полей и определения общего количества и типов облаков в Средиземноморском бассейне (30–50° с.ш., 10° з.д.– 45° в.д.) на спутниковое изображение наносится географическая сетка, а массив данных формируется в квадратах 5×5 с учетом температурного рельефа, (рисунок 1).

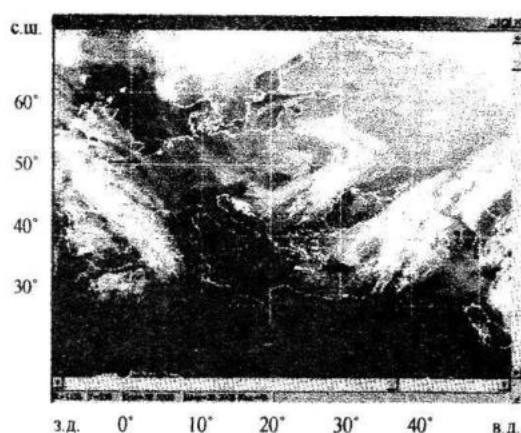


Рисунок 1 – Спутниковое изображение с ИСЗ «Meteosat» с нанесенной географической сеткой

Информация, поставляемая ИСЗ «Meteosat» позволяет определять степень покрытия облаками земной поверхности, структуру поля облачности и форму облаков [4]. Контраст яркости, обусловленный температурными контрастами облачного покрова и подстилающей поверхности на изображении, является основным дешифровочным признаком. Яркость изображения на ИК-снимках определяется в соответствии с формулой Планка и законом Стефана-Больцмана температурой поверхности и ее излучательной способностью.

$$E = \sigma T^4,$$

где E – интенсивность излучения с единицы поверхности черного тела при температуре T ; σ – постоянная Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-9}$ мВт·см⁻²·К⁻⁴. Обычно различают 4–6 тонов яркости [5].

Для получения данных о количестве общей облачности применяется критерий отношения площади, занимаемой облачными элементами к площади просветов по 10 балльной шкале. При дешифрировании космических снимков не всегда точно удастся определить формы облаков из-за фотографического сходства большинства между собой, поэтому в спутниковой метеорологии используют условную классификацию (типизацию), рекомендованную Всемирной метеорологической организацией (ВМО), а типы облаков кодируются в соответствии с таблицей 1. Более подробно это описано в работе [2].

Результаты и обсуждение. Основные типы облаков, согласно которым проводилось дешифрирование облачности по спутниковым снимкам, представлены на рисунке 2.

Описанная выше методика и созданная на ее основе база данных позволила провести анализ изменчивости поля облачности в Средиземноморском районе за десятилетний период 1997–2006 гг. Для примера, распределение средних месячных зональных значений количества облаков в январе по 5° квадратам за период 1997–2006 гг., представлена в таблице 2. Из этой таблицы видно, что в распределении количества облаков явно выделяются четыре зоны. Среди них, по распределению среднего количества облаков, можно выделить две зоны, характеризующихся максимальными и минимальными величинами. Это первая (50–45° с.ш.) с наи-

большим (8,1–9,3 баллов) и четвертая зона (35–30° с.ш.) – с наименьшим (4,6–6,0 баллов) количеством облаков. Характерным для второй и третьей (45–30° с.ш.) зон является увеличение облачности на западе региона (6,5–8,0 баллов), уменьшение в центре (5,4–7,0 баллов) затем увеличение ее

на восток (8,2–9,3 балла). Различие в распределении среднего количества облаков обусловлено географическими особенностями подстилающей поверхности Средиземноморского района, создающие специфические термические условия в атмосфере на высотах.

Таблица 1 – Условная классификация облачности рекомендованная ВМО

Код облаков	Типы облаков	Состав облачности	Яркость изображения облачности на снимках
1	Слоистообразная	St, Ns, As, Cs	От серо-белого до белого
2	Кучевообразная	Cu, Ac, Cc	От светло-серого до ярко белого
3	Слоисто-кучевообразная	Sc, Cu, Ac	От светлого до светло-серого
4	Перистообразная	Ci, Cs, Cc	Светло-серый или серый

Разность среднего количества облаков между зонами 1 и 4 составляет 2,6–4,7 баллов, а между зонами 2 и 3 она невелика и составляет около 1,5 балла. Объясняется это различием в ландшафте и тем, что зимой воздух оказывается на 6–8 °С холоднее воды, который характеризуется в это время неустойчивостью стратификации атмосферы, что подтверждается литературными данными [6].

Особенности в распределении количества облаков в основных зонах (1 и 4) проявляется и в распределении межгодовых среднемесячных значениях количества облаков

над Средиземноморским бассейном, полученных по тем же спутниковым данным представлены в таблице 3. В то же время, из таблицы 3 видно, что в межгодовом распределении среднего количества облаков над Средиземноморским регионом выделяются аномальные 1998 и 2001 гг., где во всех зонах наблюдается повышенное количество облаков, в среднем составляет 8,5 балла. Это видно и из графиков распределения количества облаков, приведенные в качестве примера на рисунке 3.

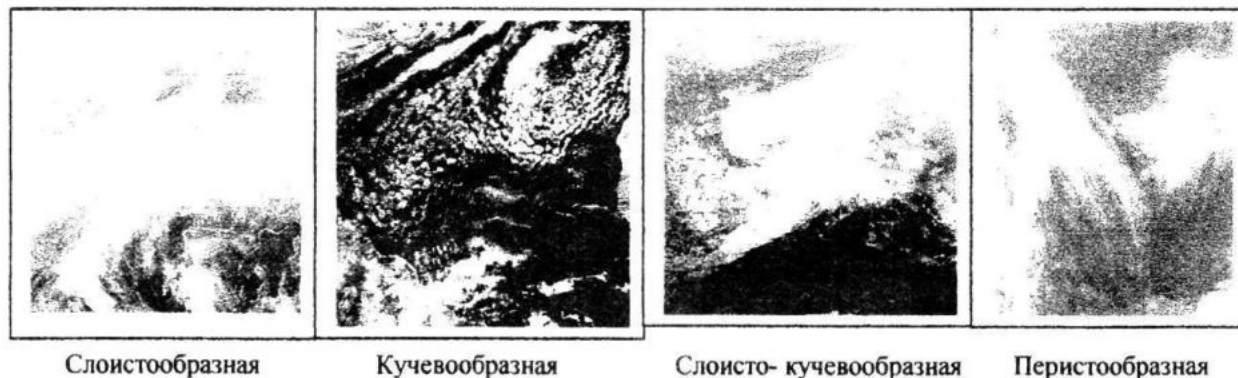


Рисунок 2 – Основные облачные ассоциации на ИСЗ «Meteosat»

Таблица 2 – Среднемесячные зональные значения количество облаков (баллы) за 10-ти летний период 1997–2006 гг. (январь)

Годы	φ°, с.ш.	Долгота (град.)									
		10–5 з.д.	5 з.д. – 0 в.д.	0–5 в.д.	5–10 в.д.	10–15 в.д.	15–20 в.д.	20–25 в.д.	25–30 в.д.	30–35 в.д.	35–40 в.д.
1997–2006	50–45	8,1	8,1	9,1	9,3	9,2	9,3	9,3	9,3	8,9	9,1
	45–40	7,9	8,0	6,9	5,9	7,0	6,9	9,2	9,0	8,4	8,2
	40–35	6,0	6,5	5,4	5,8	5,8	6,1	7,4	7,3	8,7	8,5
	35–30	5,4	5,0	5,1	4,6	5,5	6,0	6,4	6,0	5,5	6,5

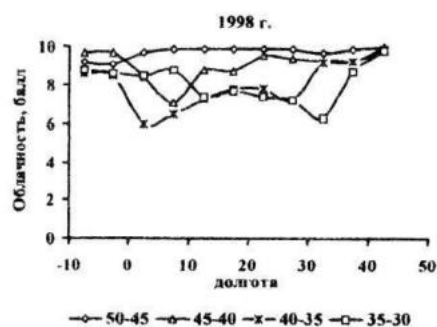
Таблица 3 – Межгодовые среднемесячные зональные значения количества облаков (баллы) в период 1997–2006 гг. над Средиземноморским бассейном (январь)

φ°, с.ш.	Годы									
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
50–45	9,0	9,8	9,1	9,6	9,1	9,0	9,0	9,1	8,1	8,6
45–40	7,9	9,2	7,3	8,2	9,0	8,0	8,0	8,0	6,1	7,6
40–35	5,6	8,2	6,3	6,8	8,2	7,1	7,8	7,1	6,1	7,5
35–30	4,6	8,2	4,6	5,2	5,9	5,9	6,0	5,5	5,7	7,1

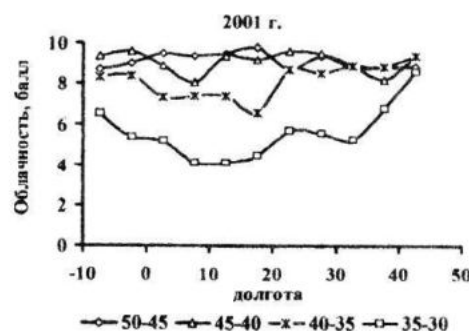
Карты пространственного распределения среднемесячных значений количества облаков позволяют детально исследовать облачные колебания и выявить районы наибольшей ее активности.

На рисунке 4 видно, что в 1998 г. распределение облачности имеет преимущественно меридиональный характер, а в 2001 г. оно преимущественно зональное. На западе Средиземного моря, над Пиренейским полуостровом (10–0° з.д.), количество облаков составляет 8–9 баллов, над центральной частью региона (морской поверхностью) око-

ло 6 баллов, на востоке (Малоазиатский п-ов и регион Черного моря), она увеличивается до 9 баллов, рисунок 3. Из того же рисунка видно, что в 2001 г. облачность над всем Средиземноморским бассейном вытянута почти в широтном направлении. Количество облаков распределено от 4 баллов на юге до 9 баллов на севере. Распределение облаков над Средиземноморским бассейном связано со специфическими орографическими условиями их формирования и атмосферной циркуляцией в зимний период [6].



а



б

Рисунок 3 – Среднемесячное распределение общего количества облаков в баллах в 5° квадратах в январе над Средиземноморским бассейном в 1998 (а) и 2001 гг. (б)

Анализ рисунков 3 и 4 показывает хорошую согласованность. Расчеты за десятилетний период показали, что в среднем на долю безоблачных дней в регионе приходится 8–10 %, средней облачности (5–7 баллов) 25 %, пасмурных (8–10 баллов) 45–55 % и 65–80 % (на юге и севере соответственно) региона. Следует отметить, что пространственная разрешающая способность анализируемых изображений недостаточно высока, однако методика, рекомендованная ВМО, позволяет выделить основные типы облаков. Они дают представление о динамических процессах в атмосфере, в результате чего они образуются [4].

Отличительной особенностью облачного покрова Средиземноморского региона является его пространственная неоднородность и некоторая хаотичность. На снимках, крупные и мелкие элементы чередуются с просветами без видимой системы [6].

Облачность различных форм над Средиземноморским регионом в январе месяце в течение 10 лет (1997–2006 гг.), распределяется в основном следующим образом: слоистообразная облачность в западной части бассейна составляет 40 %, в центральной – 10–20 %, а на восток опять увеличивается до 30–40 %. На кучевообразную облачность для всего региона приходится 20–50 %,

слоистокучевообразную 60–70 %. Однако, в аномальные 1998 и 2000 гг. слоистокучевообразные облака имеют противоположное распределение. Как видно из рисунка 5, в Западной части региона (10° з.д.–10° в.д.) слоистокучевообразные облака сначала имеют тенденцию понижения до 60 % (1998 г.) и повышения 80–85 % (2001 г.), а в Центральной и Восточной районах (10–40° з.д.) она составляет 80 % и 55 % (1998, 2001 гг. соответственно). Безусловно, отмеченные колебания от года к году связаны с межгодо-

выми особенностями характера атмосферной циркуляции над Средиземноморским регионом, обусловленными крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера. За формирование межгодовых колебаний в регионе в зимний период в значительной степени ответственно Северо-Атлантическое колебание (САК). Его вклад в изменчивость Средиземноморских отдельных гидрометеополей составляет по оценкам разных авторов от 40 до 60 %, например в работах [7, 8].

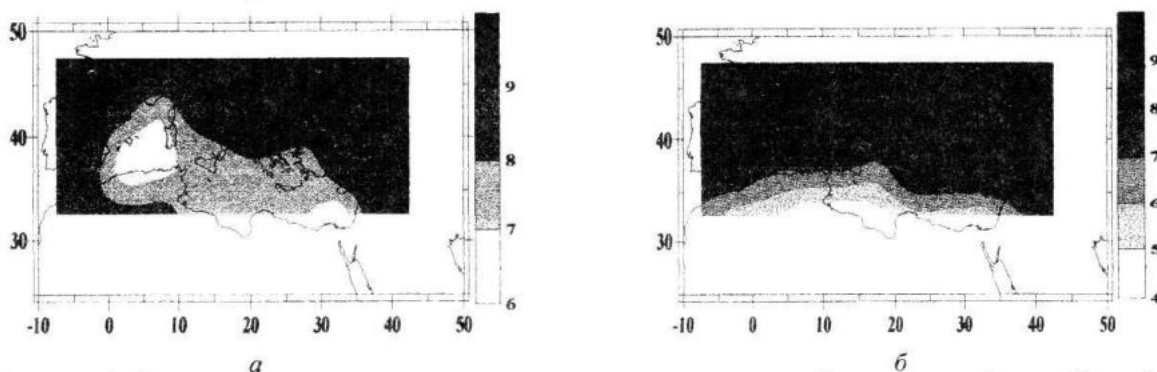


Рисунок 4 – Пространственное распределение среднемесячных значений количества облаков (баллы) в январе над Средиземноморским бассейном в 1998 (а) и 2001 (б) гг.

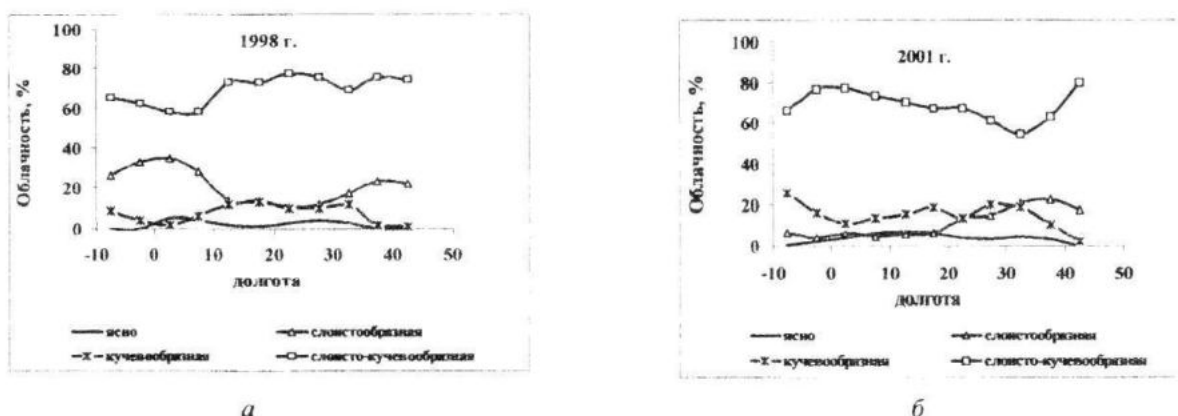


Рисунок 5 – Распределение различных форм облаков (%) над Средиземноморским бассейном в январе 1998 (а) и 2001 гг. (б)

В настоящей работе из-за ограниченности объема данных десятилетним периодом не представляется возможным провести анализ статистической связи межгодовой изменчивости характеристик облачности с САК. Однако визуальный анализ графиков изменчивости распределения среднего количества общей облачности по широтным зонам для января в 1997–2006 гг. (рисунок 6) и соответствующих изменений индекса САК в этот период (рисунок 7) указывает на наличие такой связи. Изменчивость балла облачности происходит в противофазе с САК, что соответствует ставшей классической схеме [8]. Так, положительной фазе САК (центры действия атмосферы Северной Атлантики смещаются в

северо-восточном направлении, и основная часть атлантических циклонов проходит по северу Европы) соответствуют минимальные величины облачности над Средиземным морем. Отрицательная же фаза САК (Азорский максимум и Исландский минимум смещаются на юго-запад, и траектории атлантических циклонов проходит преимущественно над югом Европы и Средиземным морем), как следствие характеризующих ее условий сопровождается максимальной облачностью в анализируемом регионе. В то же время, важный вклад в формирование региональных межгодовых аномалий вносят события Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК), возникающее с периодичностью

2–7 лет. Степень проявления ЭНЮК в Средиземноморском регионе до сих пор остается дискуссионной. Корреляционную связь полей температуры и осадков там с индексом ЮК оценивают в пределах 0,3–0,5 [9, 10]. Однако, влияние ЭНЮК проявляется в зимних климатических аномалиях не непосредственно, а через САК, усиливая или ослабляя его действие. При этом, в соответствии с характером изменчивости тихоокеанского сигнала в нулевой и первый годы этого события, его величина значительно изменяется, что проявляется и в его региональных откликах. В нашем случае в течение анализируемого периода такие события отмечались в 1997–1998 гг., 2002–2003 гг., 2006–2007 гг. На графике (рисунок 6) среднее количество облаков в перечисленные годы характеризуются резкими изменениями величины ее баллов во всех широтных зонах.



Рисунок 6 – Межгодовая изменчивость средних величин количества облачности по широтным зонам и проявления событий ЭНЮК в период 1997–2006 гг. (январь)

Этот факт может служить подтверждением наличия средиземного отклика на события ЭНЮК в атмосферных полях и в частности, в поле облачности. Таким образом, в настоящей работе по данным созданной базы облачности на качественном уровне удалось обнаружить связь межгодовой изменчивости характеристик облачности с САК и ЮК (рисунки 6 и 7). Однако, количественную оценку вклада этих процессов можно будет получить при использовании более длительных массивов данных.

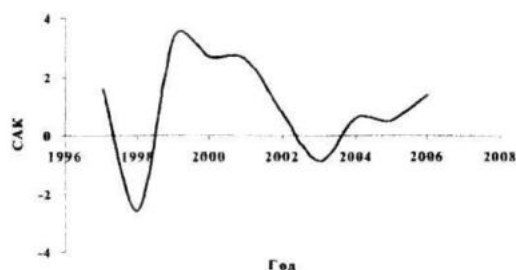


Рисунок 7 – Межгодовое распределение индекса САК в период 1997–2006 гг. (январь)

Выводы. Методика дешифрирования спутниковых изображений облачности позволяет получить ее пространственное распределение с точностью до 1 балла и выделить четыре наиболее показательных класса облачных сочетаний.

Анализ межгодовой изменчивости количества и типов облаков за период 1997–2006 гг. на качественном уровне показал их связь в зимний период с крупномасштабными процессами системы океан-атмосфера – САК и ЭНЮК, однако, количественные оценки такой связи будут получены по завершению работы по созданию базы спутниковых данных по полю облачности за 1981–2006 гг.

Литература

1. Е.Н. Воскресенская, Ю.Б. Ратнер, Т.М. Баянкина. Особенности использования спутниковой информации для выделения синоптических образований в Средиземноморском бассейне // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. НАН Украины МГИ: – Севастополь. 2004. – С. 270–275.
2. Г.А. Абрамсон, Т.М. Баянкина, С.В. Бородин и др. Программно-аппаратный комплекс приема и обработки спутниковых данных и его использование для мониторинга гидрометеорологических полей // Морской гидрофизический журнал, № 5, 1997. – С. 42–50.
3. А.С. SU 1406713 А1. Синхронный амплитудный детектор // Иванчик М.В. – Оpubл. 30.06.88. Бюл. № 24.
4. Г.Н. Витвицкий. Зональность климата Земли. – М.: Мысль, 1980. – 253 с.
5. А. Перри, Д. Уокер. Система океан-атмосфера. – Л.: Гидрометеиздат. 1979. – 195 с.
6. Средиземноморские циклоны в поле облачности // Под ред. Т.П. Поповой. – Л. Гидрометеиздат. 1975. – 97 с.
7. J. Guijarro, A. Jansa, and J. Campins: Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean. *Advances in Geosciences*, vol. 7, 2006. – P. 45–49.
8. A. Polonsky, E. Voskresenskaya, D. Basharin: Coupled Ocean- atmosphere system and its impacts on European climate // In book: *Climate in transition*, ed. by L.C. Nkemdirim, Washington, DC Minuteman Press, 2003. – P. 15–27.
9. A. Polonsky, E. Voskresenskaya: ENSO-Induced Climate Variability over the Europe // *Studia Geograficzne, Acta Universitatis Wratislaviensis*, Wroclaw, vol. 75, № 2532, 2003. – P. 87–97.
10. A. Mariotty, N. Zeng and K.M. Lau. Euro-Mediterranean rainfall variability and ENSO // *CLIVAR Exchange*, vol. 7, № 1, 2002. – P. 3–7.