

ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ И ВЛАГОПЕРЕНОС В ТРОПОСФЕРЕ ПРИЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА В ТЕПЛОЕ ПОЛУГОДИЕ

Т.Е. Данова¹, О.М. Прокофьев²

¹Морской гидрофизический институт РАН, г. Севастополь

*²Одесский государственный экологический университет, Украина
danova8@mail.ru, leggg0707@rambler.ru*

Введение

Наиболее достоверным материалом для мониторинга климата являются температурно-влажностные характеристики. Перемещение воды на земном шаре и ее фазовые преобразования тесно связаны со всеми основными климатообразующими факторами и общей циркуляцией атмосферы. Атмосферная циркуляция является переносчиком влаги в атмосфере в газообразном и частично в жидком и твердом виде в облаках. Процессы влагообмена влияют на общую циркуляцию атмосферы путем изменения энергии в результате фазовых преобразований водяного пара, принимающего участие во влагообмене, и также являются продуктом общих климатообразующих факторов: радиации, циркуляции, свойств подстилающей поверхности [5, 10]. Истории исследования характеристик влагообмена более ста лет, и она тесно связана с именами О.И. Воейкова (1875, 1894, 1913 гг.), Э.А. Брикнера (1905 г.), С.И. Кашина, А.И. Бурцева, М.И. Будыко, О.А. Дроздова (1950–1956 гг.). Для Причерноморского региона ранее был проведен анализ статистических характеристик влагосодержания и влагопереноса [9, 11].

Данные об изменении элементов влагообмена позволяют проанализировать их природные колебания в годы экстремальных ситуаций: крупных аномалий температуры воздуха, активизации опасных явлений погоды, связанных с мощной

конвекцией, а также засушливых и переувлажненных лет. Изучение временных особенностей содержания водяного пара представляет интерес для анализа условий облакообразования и выпадения осадков, формирования грозового заряда, роста градовых зародышей в облаке. В связи с этим изучение современных тенденций, характерных для влагосодержания и влагопереноса в тропосфере Причерноморского региона, является актуальным вопросом. Кроме того, современные климатические изменения в виде повышения температуры воздуха значительно влияют на образование фактической естественной влаги в границах одной страны или объединенного региона [7, 8]. Для стран, входящих в исследуемый регион, информация о количестве переносимой влаги в тропосфере и о причинах формирования зон ее максимумов и минимумов может послужить основой для обеспечения продовольственной безопасности, повышения финансовой устойчивости предприятий агропромышленного комплекса и устойчивого развития сельских территорий.

Методика и материал исследования

Влагосодержание атмосферы в разных географических районах определяется количеством водяного пара в атмосфере, которое определяется температурой воздуха, адвективным и турбулентным переносами влаги, а также процессами испарения и конденсации.

Метод радиозондирования дает возможность определять запас водяного пара в атмосфере непосредственно из прямых измерений характеристик влажности воздуха на разных высотах, не учитывая при этом жидкокапельную и кристаллическую влагу. Погрешность измерения характеристик влажности при радиозондировании атмосферы составляет 1–5 % [17]. Метод является простым и достаточно надежным при корректном определении коэффициентов, учитывающих местные особенности распределения влаги в атмосфере. В работе использовались коэффициенты, которые позволяют избежать значительных погрешностей в расчетах влагосодержания тропосферы над пунктом [5, 10].

Методы расчета основных характеристик влагообмена были разработаны О.А. Дроздовым [10]:

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_0}^p q dp, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; q – удельная влажность, г/кг; p , p_0 – давление на изобарических поверхностях, гПа.

Проведенные исследования показали, что значения влагосодержания атмосферы, рассчитанные с помощью параметра r – отношение смеси (г/кг), – отличаются на величину около 2 % от значений влагосодержания атмосферы, рассчитанных с использованием q – удельной влажности (г/кг) – величины, которая входит в стандартный набор результатов радиозондирования. В связи с очень незначительными отклонениями результатов было принято решение использовать в дальнейших расчетах параметр r .

Были использованы значения отношения смеси r (г/кг) на изобарических поверхностях от 1000 до 300 гПа:

$$W = 10(0,075r_0 + 0,150r_{850} + 0,175r_{700} + 0,10r_{500} + r_{400} + r_{300}), \quad (2)$$

где W – влагосодержание столба атмосферы в слое 1000–300 гПа, кг/м²; 0,075; 0,150; 0,175; 0,10 – коэффициенты (k^*), которые характеризуют часть массы атмосферы между изобарическими поверхностями.

Для решения ряда вопросов необходимо знать количество циркулирующей в атмосфере влаги независимо от направления потока. В работе получены средние значения переноса влаги для всех месяцев теплого периода года в слое Земля – 300 гПа для области, расположенной над Черным морем, а также над территорией стран, граничащих с ним или находящихся на пути перемещения воздушных потоков к Причерноморскому региону. Обычно уровень 300 гПа не включают в расчеты из-за малого влагосодержания, но, учитывая возможное развитие конвективной облачности до нижней границы стратосферы, принято решение рассчитывать влагоперенос до 300 гПа поверхности:

$$v_{(W)} = 10(0,075r_0v_0 + 0,150r_{850}v_{850} + 0,175r_{700}v_{700} + 0,10r_{500}v_{500} + r_{400}v_{400} + r_{300}v_{300}), \quad (3)$$

где $v_{(W)}$ – пронос влаги над станцией, кг/м·с; v_0, v_{850} и т. д. – модуль средней скорости ветра на поверхностях, м/с; r_0, r_{850} и т. д. – среднее значение отношения смеси на поверхностях, г/кг.

В качестве исходного материала в работе использовались среднемесячные значения отношения смеси и скорости ветра у поверхности Земли и на стандартных изобарических поверхностях (Земля – 300 гПа), полученные по данным радиозондирования тропосферы в Причерноморском регионе за теплый период года (апрель–сентябрь) с 1973 по 2012 г. в срок 00 ч ВСВ. Использовались данные 10 станций, расположенных на территории стран, входящих в Причерноморский регион (табл. 1).

Таблица 1

Государственная принадлежность аэрологических станций, их координаты и высота над уровнем моря

Станции	Координаты		Высота над уровнем моря, м	Годы	Период наблюдений, лет
	широта	долгота			
<i>Россия</i>					
Дивное	45,91	43,35	87	1973–2012	40
Ростов-на-Дону	47,25	39,81	78	1973–2012	40
Туапсе	44,10	39,03	95	1973–2012	40
<i>Турция</i>					
Анкара	39,95	32,88	891	1973–2012	40
Стамбул	40,96	29,08	39	1973–2012	40
<i>Румыния</i>					
Бухарест	44,50	29,13	91	1973–2012	40
<i>Украина</i>					
Киев	50,40	30,56	167	1973–2012	40
Львов	49,81	23,95	323	1973–2012	40
Одесса	46,43	30,76	42	1973–2012	40
Харьков	49,96	36,13	155	1973–2012	40

Выбор станций проводился с учетом длительности ряда наблюдений (40 лет). Данные радиозондирования атмосферы получены из базы данных университета штата Вайоминг (США) [1].

В связи с тем, что в исследуемом регионе применяются разные системы радиозондирования, аэрологические данные могут быть не вполне сопоставимы по точности. Во избежание этого были использованы результаты наблюдений с 1973 г., чтобы начальный материал был достаточно однородным и надежным. Этой же цели способствовало использование единого срока зондирования – 00 ч ВСВ.

Для выявления пространственно-временных закономерностей распределения влагосодержания и переноса влаги в тропосфере использовалась методика визуализации значений, полученных при статистической обработке материала.

Для расчета характеристик энергетического спектра влагосодержания и влагопереноса в тропосфере Причерноморья использовался алгоритм Фурье-анализа [6]. Учитывая, что в качестве случайной функции мы рассматриваем в том числе и влагоперенос в тропосфере Причерноморского региона, для расчета которого используются значения скорости ветра на изобарических поверхностях, в таком случае распределение дисперсий, имеющих квадрат размерности амплитуды, пропорционально плотности распределения энергии сигнала по частотам. Таким образом, спектральную плотность случайной функции можно рассматривать как «энергетический спектр» этой функции:

$$S_x(\omega) = \lim_{\substack{T \rightarrow \infty \\ (\Delta\omega \rightarrow 0)}} S_{X_T}(\omega_i) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_x(\tau) \cos \omega\tau \, d\tau, \quad (4)$$

где $S_{X_T}(\omega_i)$ имеет смысл средней плотности дисперсии на единицу частоты; $K_x(\tau)$ – ковариационная функция.

Функция $S_x(\omega)$ определяет плотность распределения дисперсии гармонических колебаний в зависимости от частоты и поэтому называется спектральной плотностью случайной функции $X(t)$. Поскольку для расчетов используется выборка, а не генеральная совокупность, то результатом расчетов будет являться не

сама характеристика, а ее оценка. Расчет статистической оценки спектральной плотности случайного процесса $\hat{S}(\omega)$ осуществлялся по формуле:

$$\hat{S}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\tau_{\max}}^{\tau_{\max}} e^{-i\omega\tau} \lambda(\tau) \hat{K}(\tau) d\tau, \quad (5)$$

где $\lambda(\tau)$ – сглаживающая функция («корреляционное окно»); i – мнимая единица.

Результаты исследования

Временные ряды метеорологических величин содержат периодические компоненты, обусловленные волновой природой атмосферных процессов. Одним из методов, позволяющим выявить скрытые периодичности, является интегральное преобразование Фурье. Получены следующие характеристики: амплитуда i -й гармоники (A_i), ее частота (ω_i), начальная фаза (φ_i), косинус- и синус-преобразования Фурье – $U(t)$ и $V(t)$ соответственно (табл. 2). Жирным шрифтом выделены значимые периодичности с вероятностью 68 %.

Полученные результаты позволяют утверждать, что из значимых гармоник для влагосодержания за теплый период года, наибольшей амплитудой обладает квазитрехлетняя гармоника. Расчеты также показали, что в теплый период года в среднем 90–95 % влаги содержится в слое Земля – 700 гПа. Многолетняя изменчивость влагосодержания в тропосфере Причерноморского региона за теплый период года, а также проведенное скользящее сглаживание с учетом 3-летней периодичности свидетельствуют об отсутствии значимого тренда (рис. 1 а). За 40-летний период влагосодержание в атмосфере Причерноморского региона изменялось незначительно (около 9 %).

Для влагопереноса за теплый период года наибольшей амплитудой также обладает квазитрехлетняя гармоника. Динамика влагопереноса в тропосфере Причерноморского региона в теплый период года с учетом проведенного скользящего сглаживания по 3-летней периодичности свидетельствует о том, что за последние 40 лет произошло значительное уменьшение количества переносимой влаги (рис. 1 б).

Таблица 2

Результаты реализации алгоритма исследования временных рядов значений влагосодержания и влагопереноса с помощью преобразования Фурье

i	ω_i	T	A_i	φ_i	$U(t)$	$V(t)$
Влагосодержание						
4	1,113	5,647	2,122	1,526	-2,157	-0,096
5	1,350	4,656	2,129	1,538	-2,082	-0,069
6	1,586	3,961	2,005	1,44	-2,172	-0,286
7	1,823	3,446	1,788	1,332	-1,511	-0,367
8	2,060	3,050	1,969	1,477	-1,842	-0,174
9	2,297	2,735	2,308	1,441	-2,598	-0,339
10	2,534	2,480	2,301	1,529	-2,140	-0,090
Влагоперенос						
i	ω_i	T	A_i	φ_i	$U(t)$	$V(t)$
4	1,113	5,647	16,309	-1,453	-14,59	1,726
5	1,350	4,656	18,951	-1,562	-21,39	0,190
6	1,586	3,961	18,221	1,291	-17,62	-5,06
7	1,823	3,446	16,274	1,355	-14,49	-3,177
8	2,060	3,050	17,570	1,415	-16,90	-2,652
9	2,297	2,735	19,588	-1,409	-20,97	3,420
10	2,534	2,500	19,646	-1,425	-18,56	2,719

Пространственное распределение статистических характеристик влагосодержания тропосферы показало, что максимальные средние значения W_{cp} характерны для станций Одесса (28,73 кг/м²), Бухарест (28,59), и Туапсе (28,71) и формируются потоком с западной составляющей, который характеризует основной перенос влаги в регионе (рис. 2 а). Пространственно-временное распределение влагосодержания в тропосфере Причерноморского региона за теплый период года выявило существование активного переноса – «реку» влаги, простирающуюся с северо-запада на юго-восток региона (рис. 2 а).

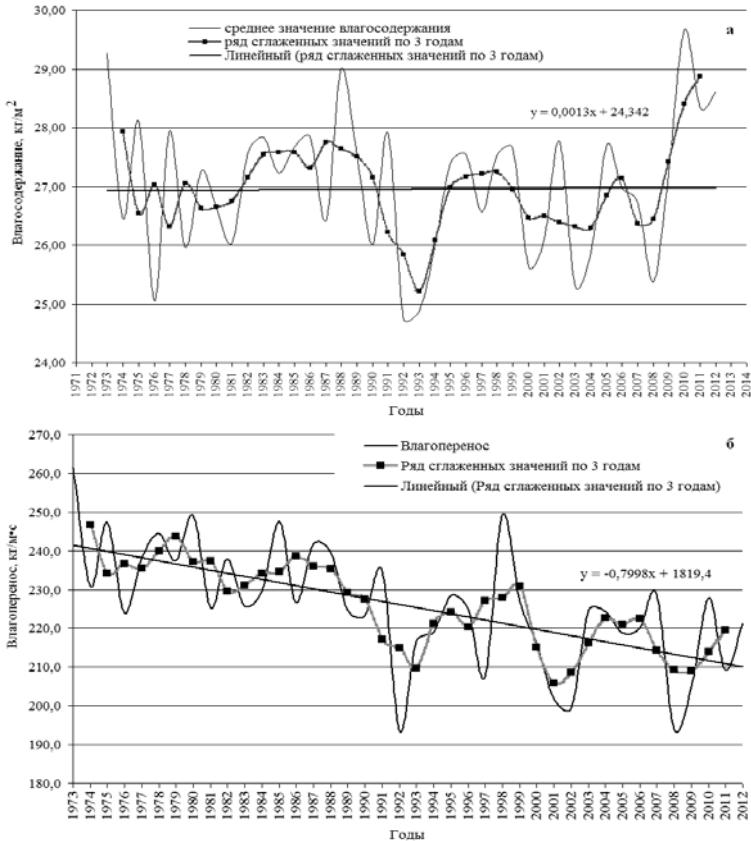


Рис. 1. Многолетняя изменчивость средних значений влагосодержания тропосферы ($\text{кг}/\text{м}^3$) (а) и влагопереноса ($\text{кг}/\text{м}\cdot\text{с}$) за теплый период года.

Таким образом, влагосодержание в тропосфере Причерноморского региона в основном определяется крупномасштабными процессами в атмосфере. Черноморский бассейн, безусловно, способствует дополнительному притоку влаги в тропосферу. Об этом свидетельствует абсолютный максимум W_{\max} влагосодержания тропосферы, который наблюдается в районе ст. Туапсе ($45,43 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Для анализа количественных характеристик энергетического спектра влагосодержания тропосферы Причерноморского региона были выбраны значения спектральной плотности влагосодержания, которые интерпретированы как годовые, полугодовые и сезонные колебания. Отметим, что максимальные значения спектральной плотности влагосодержания тропосферы, характерные для полугодовых колебаний, выявлены в районе ст. Туапсе (34,95) (рис. 2 в) и для годовых колебаний (55,99) (рис. 2 г). Таким образом, анализ количественных характеристик энергетического спектра влагосодержания показал, что район тропосферы над станцией Туапсе является энергетически активной зоной. При этом пространственное распределение значений спектральной плотности, рассчитанных для сезонных колебаний, над центральной и восточной частью региона носит широтный характер (рис. 2 б).

Однако даже при малых значениях влагосодержания количество влаги, циркулирующей в тропосфере, может достигать больших значений в зависимости от скорости ветра в регионе. В теплый период года значениям влагопереноса присуща значительная изменчивость, в среднем по региону в диапазоне до 100 кг/м·с. Минимальные значения влагопереноса в тропосфере наблюдаются в апреле (156,33 кг/м·с), а максимальные значения – в июле (277,89 кг/м·с). В среднем минимальные значения влагопереноса характерны для ст. Анкара (184,12 кг/м·с), а максимальные – для ст. Дивное (255,56 кг/м·с) и ст. Львов (251,78 кг/м·с) (рис. 3 а).

Анализ значений спектральной плотности влагопереноса, интерпретированных как годовые, полугодовые и сезонные колебания, показал, что максимальные значения спектральной плотности влагопереноса в тропосфере, характерные для годовых колебаний, выявлены над ст. Туапсе (6539,47) и ст. Львов (3879,62) (рис. 3 г).

Для полугодовых колебаний максимум также отмечен над ст. Туапсе (5113,59) и ст. Львов (4555,17) (рис. 3 в). При расчете количественных характеристик энергетического спектра для сезонных колебаний выявлено наличие трех зон максимумов в районе станций Львов (1462,65), Анкара (1160,49) и Туапсе (1063,88) (рис. 3 б). Сезонный максимум в районе ст. Львов обусловлен, по всей видимости, ярко выраженной сезонной динамикой и близостью Карпатских гор.

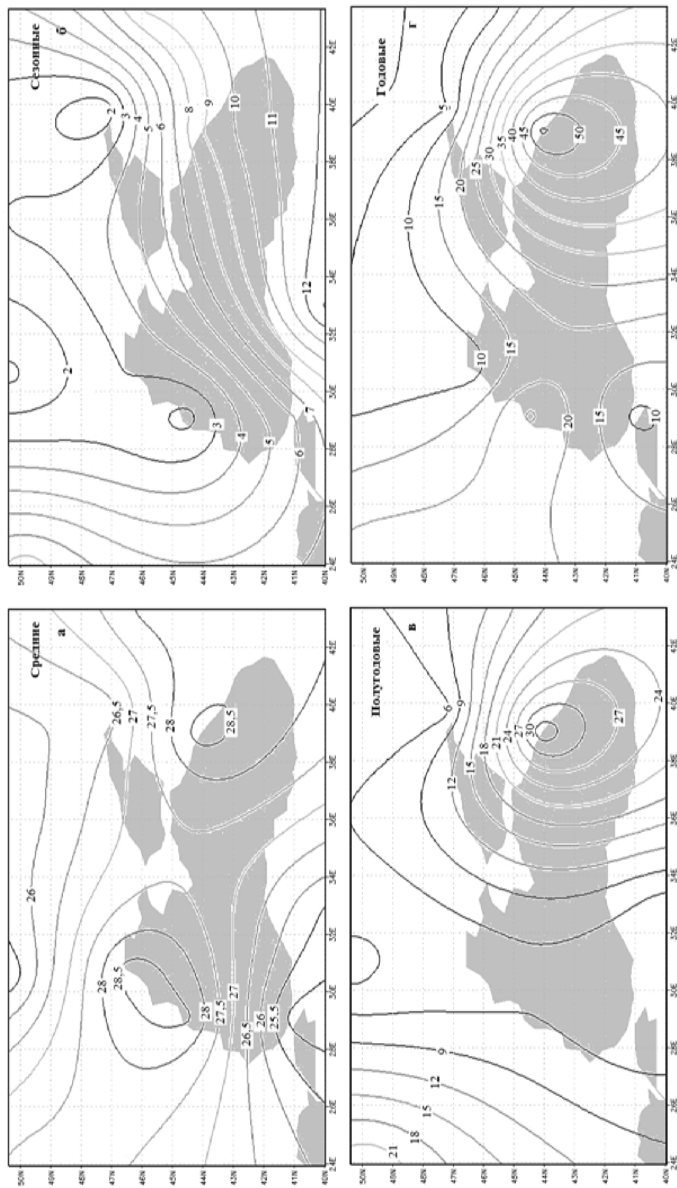


Рис. 2. Средние значения влагосодержания (кг/м^3) (а), спектральная плотность влагосодержания для сезонных (б), полугодовых (в) и годовых гармоник (Γ) в тропосфере Причерноморского региона.

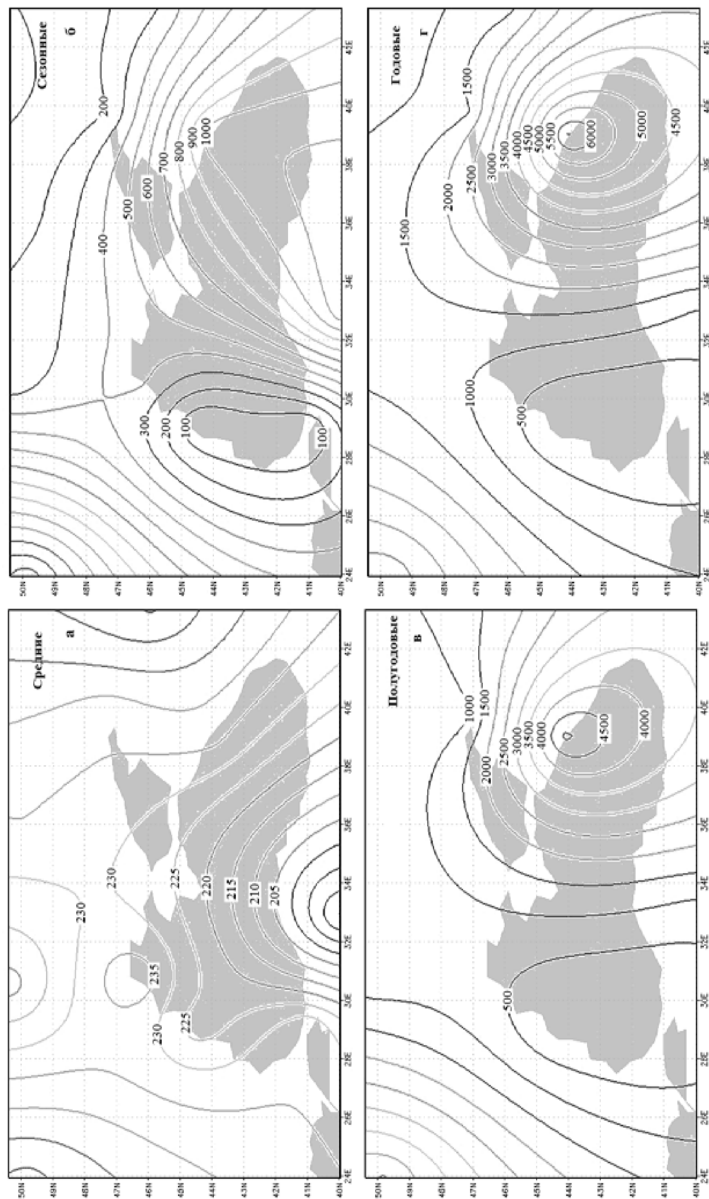


Рис. 3. Средние значения влагопереноса (кг/м·с) (а), спектральная плотность влагопереноса для сезонных (б), полугодовых (в) и годовых гармоник (г) в тропосфере Причерноморского региона.

Условия формирования зон максимума влагосодержания, выявленные на поле средних значений (западная) в районе станций Одесса – Бухарест и (восточная) ст. Туапсе требуют пристального внимания.

Переносчиком влаги в атмосфере в любом агрегатном состоянии является атмосферная циркуляция. В роли основных транспортеров влаги выступают циклоны. Условиям образования и эволюции циклонов на территории Европы посвящено значительное количество работ, в том числе русских ученых Б.И. Срезневского (1881–1883 гг.) [15], М.А. Рыкачева (1896 г.) [14], Б.П. Мультиановского (1915 г.) [13]. В работах Ван-Бембера (1885, 1891 гг.) представлена одна из первых карт траекторий циклонов в Европе [24, 25].

Проанализируем работы, в которых приводятся результаты более длительных исследований. В работе Н.Н. Бельской [3] исследуются условия развития южных циклонов за период 1933–1947 гг. для холодного времени года (октябрь–март) с использованием основных положений гидродинамической теории и адвективно-динамического анализа. Из общего числа проанализированных в работе южных циклонов, перемещающихся на территорию СССР, 48 % возникают на западе Средиземного моря, а 52 % – на западе Черного моря. В работе отмечается, что наибольшую повторяемость (90 %) имеют циклоны, возникающие при меридиональном переносе в тропосфере. Картирование траекторий южных циклонов показало, что пути южных циклонов пролегают по западному и северо-западному побережьям Черного моря. Именно к этому району относится выявленная нами западная зона максимума влагосодержания.

Условия развития и смещения на Европейскую территорию СССР южных циклонов летнего полугодия рассмотрены в работе В.М. Курганской [12]. Автором также выделена группа циклонов, которые выходят на территорию бывшего СССР через Балканский полуостров или с Черного моря, их траектории также пролегают по западному, северо-западному побережью Черного моря в районе выявленной зоны максимума влагосодержания.

В работе Л.Ф. Богатырь [4], посвященной исследованию траекторий циклонов над территорией Украины, исследуется период

с 1945 по 1952 г. Автором показано, что южные циклоны, а в некоторых случаях западные и северо-западные, смещаются по траекториям, пролегающим по западному северо-западному побережью Черного моря.

Траектории циклонов, несущих большое количество осадков на территорию Украины в теплый период года за временной интервал 1981–2000 гг., анализировались в работе В.А. Балабух [2]. Проведенный сравнительный анализ зон циклогенеза в 40–50-е, 80-е и 90-е гг. XX в. выявил повышение активности меридиональной циркуляции в конце столетия, обусловившее увеличение циклогенеза в районе Средиземноморья. Автор показала, что более 80 % циклонов с южной составляющей перемещается по траектории, огибающей Карпаты с востока и пролегающей по западному, северо-западному побережью Черного моря.

Таким образом, первая зона максимальных значений влагосодержания в Причерноморском регионе чаще связана с районом выхода южных циклонов и реже – западных и северо-западных. Причем траектория южных циклонов, пролегающая по западному, северо-западному побережью Черного моря характерна как для холодного, так и для теплого времени года.

Второй максимум в районе станции Туапсе сопряжен с максимальными значениями спектральной плотности влагосодержания и влагопереноса, которые характерны для годовых, полугодовых колебаний.

Существует ряд работ, показывающих, что Средиземноморский регион является зоной самой высокой концентрации зимнего циклогенеза в мире [20, 21]. Некоторые из циклонов настолько интенсивны, что классифицируются как «meteorological bombs» [16, 18]. В [19] показано, что сложные орографические условия и контраст «суша – море» являются определяющими условиями при выделении районов орографического циклогенеза: необходимым условием формирования и развития циклонов является наличие поля деформации в нижних и средних слоях тропосферы со значительными температурными градиентами. В этом смысле не только Средиземное море, но и восточная часть Черного моря также являются зоной сложной орографии. В [22] проводится оценка районов циклогенеза по данным ECMWF re-analysis по сетке

2,25°×2,25° за период 1979–1996 гг. Авторами выделена зона активного циклогенеза в восточной части Черного моря, в которую, безусловно, входит побережье в районе Туапсе. Причем эта зона характеризуется более 70 случаями циклогенеза в августе за исследованный период и остается активной на протяжении всего года [23]. Так, зимний циклогенез активен в восточных районах Черного моря, характеризующихся большими температурными контрастами (суша – море) и находящихся под влиянием горных систем [19].

Заключение

Результаты исследования выявили формирование «реки влаги» центральной части тропосферы Причерноморского региона в теплый период года, образование которой связано с северо-западным направлением воздушных потоков. Максимум влагосодержания над западным побережьем Черного моря совпадает с районом выхода южных циклонов, в редких случаях западных и северо-западных. Траектория южных циклонов, пролегающая по западному, северо-западному побережью Черного моря характерна как для холодного, так и для теплого времени года.

Интерпретация спектральной плотности, рассчитанной для значений влагосодержания и влагопереноса как «энергетического спектра» этих величин, позволила выявить зоны максимальных значений исследуемых параметров в Причерноморском регионе. Максимум средних значений влагосодержания над восточной частью Черного моря сопряжен с максимальными значениями спектральной плотности влагосодержания и влагопереноса. Анализ количественных характеристик энергетического спектра этих величин показал, что район тропосферы над восточной частью Черного моря является энергетически активной зоной, формирование которой обусловлено как орографическими особенностями (перепад высот), так и особенностями циркуляционных процессов в регионе.

Многолетняя динамика влагопереноса в Причерноморском регионе свидетельствует о значительном снижении количества влаги, циркулирующей в регионе. Этот факт косвенным образом

указывает на снижение скорости ветра в исследуемом регионе, однако это предположение требует дополнительных исследований.

Таким образом, распределение средних значений влагосодержания выявляет зоны максимума, а совместный анализ спектральной плотности позволяет интерпретировать выявленные зоны активности в восточной части Черного моря как зоны активного циклогенеза.

Список использованных источников

1. База данных радиозондирования атмосферы. [Электронный ресурс]. URL: <http://weather.uwyo.edu> (дата обращения: 12.03.2013)

2. Балабух В.О. Траекторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2004. – Вип. 253. – С. 103–119.

3. Бельская Н.Н. Южные циклоны и условия их перемещения на Европейскую территорию СССР // Труды ЦИП. – 1949. – Вып. 17. – С. 64–113.

4. Богатырь Л.Ф. Траектории циклонов на территории Украины // Труды УкрНИГМИ. – 1957. – Вып. 7. – С. 15–49.

5. Бурова Л.П. Влагооборот в атмосфере Арктики. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – 154 с.

6. Гончарова Л.Д., Школьний Є.П. Методи обробки та аналізу гідрометеорологічної інформації: Навчальний посібник // Одеса: Екологія. – 2007. – 454 с.

7. Данова Т.Е. Влияние современных климатических изменений на динамику мезомасштабных процессов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Метеорология. Экология. – 2013. – № 3. – С. 79–83.

8. Данова Т.Е., Касаджик Т.Л. Оценка современной изменчивости повторяемости и количества осадков статистическими методами // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2013. – № 7 (160). – Вып. 24. – С. 155–162.

9. Данова Т.Є., Касаджик Т.Л. Сучасні зміни вологовмісту тропосфери в теплий період року в Причорноморському регіоні // Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки». Серія: Географічні науки. – 2013. – № 16 (265). – С. 50–54.

10. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Влагооборот в атмосфере. – Л.: Гидрометеоздат, 1963. – 315 с.

11. *Касаджик Т.Л.* Современные изменения влагопереноса в тропосфере Причерноморского региона в теплый период года // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія географія, екологія, геологія. – 2014. – Вып. 40 – С. 81–85.
12. *Курганская В.М.* Условия развития и смещения на Европейскую территорию СССР южных циклонов летнего полугодия // Труды ЦИП. – 1949. – Вып. 16 (43). – С. 3–29.
13. *Мультиановский Б.П.* Влияние центров действия атмосферы на погоду Европейской России в теплое полугодие. Геофизический сборник. – 1915. – № 3. – С. 73–97.
14. *Рыкачев М.А.* Типы путей циклонов в Европе по наблюдениям за 1872–1887 гг. // Записки АН. – 1896. – Т. 3, №3.
15. *Срезневский Б.И.* Пути циклонов в России за 1881–1883 гг. // Метеорологический сборник. – Т. X. – № 9.
16. *Conte M.* The Meteorological bomb in the Mediterranean: a synoptic climatology // WMO/TD № 128. – 1986. – Vol. 4. – P. 17–31.
17. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation // WMO-No. 8. – 2008. – P. 681.
18. *Homar V., Ramis C., Alonso S.* A deep cyclone of African origin in the Western Mediterranean: diagnosis and numerical simulation // Ann. Geophys. – 2002. – Vol. 20. – P. 93–106.
19. *Lionello P., Malanotte-Rizzoli P., Boscolo R.* Mediterranean Climate Variability. – Elsevier Science, 2006 – 421 p.
20. *Pettersen S.* Weather analysis and forecasting. – New York Mac: Graw Hill, 1956.
21. *Radinovic D.* Mediterranean cyclones and their influence on the weather and climate // WMO, PSMP Rep. Ser. – 1987. – No.24.
22. *Trigo I.F., Bigg G.R., & Davies T.D.* Climatology of cyclogenesis mechanisms in the Mediterranean // Mon. Wea. Rev. – 2002 – Vol. 130. – P. 549–649.
23. *Trigo I.F., Davies T.D., & Bigg G.R.* Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region // J. Climate. – 1999. – Vol. 12. – P. 1685–1696.
24. *Van Bebber.* Die Zugstrassen der barometrischen minima nach den Bahnen Karten der deutschen Seewarte für den Zeitraum 1875–1890 // Meteorol. Zeitschr – 1891.
25. *Van Bebber.* Handbuch der ausübenden Witterungskunde. Bd. 1. – 1885.

Поступила в редакцию 16.02.2016 г.