

О формировании атмосферных сезонных осадков в Черноморском регионе

Рассмотрены климатические особенности формирования осадков по данным приморских гидрометеорологических станций Севастополь и Феодосия и их связь с барической ситуацией в Атлантико-Европейском секторе. В качестве исходных использованы массивы данных о суточных осадках в этих пунктах за 1900 – 2005 гг., а также данные реанализа полей атмосферного давления в Атлантико-Европейском секторе. Приведены сравнительный статистический анализ суточных осадков в период влажных и сухих летних сезонов, а также оценка экстремально высоких значений осадков для заданных периодов повторяемости. Подтверждена зависимость наступления влажных и сухих зимних сезонов в Севастополе и Феодосии от крупномасштабных барических полей в Атлантико-Европейском секторе.

Изучение вероятных изменений климата в XXI в. под влиянием антропогенных факторов предполагает детальный анализ современного климатического режима на региональных масштабах. Одним из наименее изученных является режим осадков, что естественно связано с малочисленностью необходимых долговременных измерений с учетом существенной пространственно-временной перемежаемости самих процессов осадкообразования. Методы прогноза локальных метеорологических процессов на основе анализа крупномасштабных полей (так называемые методы *downscaling'a*) достаточно многочисленны, включая как количественные, так и более приближенные оценочные подходы. В работе [1] рассмотрены статистические методы для расчета месячных аномалий атмосферных осадков для региона Украины и Черного моря. В частности с использованием канонического корреляционного анализа было показано, что основным механизмом влияния на осадки в Черноморском регионе является реакция траектории европейских циклонов на изменение крупномасштабных атмосферных полей в Атлантико-Европейском секторе, что традиционно принято описывать как суперпозицию Североатлантического колебания (САК) и Евразийской моды. Отметим, что механизм, связывающий чередование типичных климатических режимов в Европе с положительными и отрицательными фазами САК, описан в целом ряде работ [например, 2,3]. С учетом этого механизма, в частности, связан и некоторый прогресс, достигнутый в последние годы в прогнозе сезонных аномалий, например, аномально теплой первой половины зимы 2005 – 2006 гг. [4].

В нашей работе будут рассмотрены климатические особенности формирования осадков по данным черноморских гидрометеорологических станций Севастополь и Феодосия и их связь с крупномасштабными полями давления в Атлантико-Европейском секторе.

Исходной информацией послужили массивы данных о суточных осадках в Севастополе за 1906 – 2005 гг. и Феодосии за 1900 – 2002 гг., а также о поле давления, приведенном к уровню моря (выборка *NCEP/NCAR Reanalysis*;

1958 – 1997 гг.; 70 – 60° в.д., 30 – 80° с.ш.; сетка 2,5 × 2,5°; интервал 6 ч) [5]. Данные инструментальных наблюдений за осадками содержат пропуски или годы с неполной информацией: для Севастополя — 1927, 1938, 1942 – 1944 гг., для Феодосии — 1941 – 1944 гг. Эти периоды были исключены из анализа.

Рассмотрим общие климатические характеристики осадков, осредненных за весь период наблюдений. В среднем за исследуемый период в Севастополе выпадало осадков 1,09 мм в день или 396 мм в год, в Феодосии – 0,73 мм в день или 268 мм в год. Среднее количество осадков в дождливый день (при учете дней с осадками большими или равными 0,1 мм): в Севастополе – 4,01 мм, в Феодосии – 4,05 мм. При этом максимальные значения суточных осадков составили: в Севастополе – 83 мм (в 21 раз превысили среднее), в Феодосии – 132,3 мм (в 33 раза превысили среднее). Среднее число дней без осадков: в Севастополе – 267, в Феодосии – 299 дней в году. Промежутки между случаями выпадения осадков в Феодосии в среднем гораздо продолжительнее, чем в Севастополе. Среднее число дней между днями с осадками: в Севастополе – 3,7, в Феодосии – 6,2 дня. Изменчивость в средних величинах и в режиме осадков в летний период существенно отличается от зимнего. Особенно заметна межгодовая изменчивость суточных осадков летом. В сухие летние периоды частота выпадения осадков в 3 раза меньше, а сами величины осадков за такие сезоны в 3 – 5 раз меньше.

Как известно, данные измерений об осадках являются примером случайного процесса, существенно отличного от простого гауссова процесса. Обычно для описания повторяемости дождливых дней используется статистика марковских процессов, а для распределения самих величин осадков в дождливые дни – двух- или трехпараметрическое гамма-распределение.

Не приводя графики кумулятивных функций распределения величин суточных осадков и их аппроксимаций двухпараметрическим гамма-распределением, представим в табл. 1 полученные по ним оценки экстремально высоких значений, соответствующих большим периодам повторяемости.

Таблица 1

Величины суточных осадков заданной повторяемости

Период повторяемости, лет	Осадки, мм	
	Севастополь	Феодосия
10	51	55
25	60	66
50	67	75
100	74	83

Также были вычислены коэффициенты корреляции r между величинами месячных сумм осадков и значениями месячных индексов САК. Значения индекса САК, взятые из работы [6], определяются как главная компонента первой эмпирической ортогональной функции геопотенциала h_{500} для Атлантико-Европейского сектора. Величины r между среднемесячными осадками, а также между среднесезонными зимними (декабрь – февраль) и летними (июнь – август) осадками и соответствующим индексом САК приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между величинами осадков и значениями индекса САК

Пункты	Осадки	Коэффициент корреляции
Севастополь	месячные	$-0,095 \pm 0,03$
	зимние	$-0,153 \pm 0,06$
	летние	$-0,017 \pm 0,06$
Феодосия	месячные	$-0,070 \pm 0,03$
	зимние	$-0,103 \pm 0,06$
	летние	$0,009 \pm 0,06$

Из табл.2 можно заключить, что величины осадков в этих двух пунктах Черноморского побережья действительно связаны с индексом САК. Причем эта связь для среднемесячных величин относительно слаба ($r = 0,07 - 0,09$), для летнего сезона практически не прослеживается и находится в пределах случайного разброса оценок, т.е. является незначимо отличной от нуля оценкой коррелированности, а для зимнего сезона более сильная ($r = 0,10 - 0,15$), что, естественно, согласуется с указанными в начале статьи представлениями. В то же время следует отметить, что величины коэффициентов корреляции для зимнего периода невелики, если их сравнить с полученными в работе [1], в которой были приведены оценки коэффициентов корреляции, хотя и определенные несколько другим способом и с использованием совсем других массивов данных. Поэтому более детально рассмотрим эту связь между локальными осадками и крупномасштабными полями на примере данных второй половины XX в., для которой имеются хорошо известные данные реанализа, включающего восстановление всех атмосферных полей с разрешением $2,5 \times 2,5^\circ$ [5].

Для более детального изучения аномальных особенностей как самих режимов сезонных осадков, так и их связей с крупномасштабной циркуляцией применим известный метод композитов. Для этого из всего набора данных выберем только те периоды, для которых сезонные осадки значительно от-

клонялись от их среднемесячных величин в большую или меньшую сторону (соответственно влажные или сухие сезоны) (табл. 3). Различие между этими крайними положениями наиболее явно характеризует особенности аномалий. С учетом относительно небольшой длины ряда данных реанализа (около 40 лет) композиты будем выбирать по одновременному превышению и в Севастополе и в Феодосии порогового уровня месячных осадков приблизительно на $\pm \sigma$, где σ – среднеквадратичное отклонение величин осадков за выбранный промежуток времени зимних или летних сезонов.

Т а б л и ц а 3

Выбранные периоды для композитов

Зимние сезоны		Летние сезоны	
сухие	влажные	сухие	влажные
1968/69	1967/68	1959	1960
1970/71	1978/79	1963	1976
1983/84	1980/81	1971	1982
1989/90	1981/82	1975	1991
1992/93	1984/85	1980	1997
–	1987/88	–	–
–	1991/92	–	–

По данным о величинах суточных осадков в дождливые дни были оценены с использованием простого метода моменты параметры гамма-распределения и далее величины экстремальных осадков, соответствующие заданным периодам повторяемости. Результаты совместно с другими характеристиками осадков в сухие и дождливые дни в зимний и летний сезоны приведены в табл.4.

Как видно, не только осредненные величины осадков, но и число дней с осадками во влажные сезоны больше, чем в сухие, однако для зимних сезонов различие менее явно. Так, в дождливые зимы в Севастополе осадки регистрируются в 1,6 раза чаще, чем в сухие зимы, а в Феодосии – в 1,4 раза чаще. Во влажные летние сезоны дни с осадками наблюдаются в Севастополе в 2, а в Феодосии – в 3 раза чаще, чем в сухие летние сезоны. Среднее количество осадков в дождливый день зимой различается во влажные и сухие зимы в 1,6 раза для Севастополя и в 1,9 раза для Феодосии; летом – в 1,7 раза для обоих пунктов. Также доля дней с осадками в летний период почти в два раза меньше, чем в зимний, но величина осадков в летний дождливый день в 1,5 – 2 раза больше. В результате суммарные осадки в зимний и летний сезоны отличаются незначительно. Такая особенность, естественно, объясняется тем, что летние и зимние осадки во многом имеют разную физическую природу. Летние часто носят внутримассовый характер, а зимние являются результатом фронтальной деятельности.

Характеристики атмосферных осадков в сухие и влажные сезоны

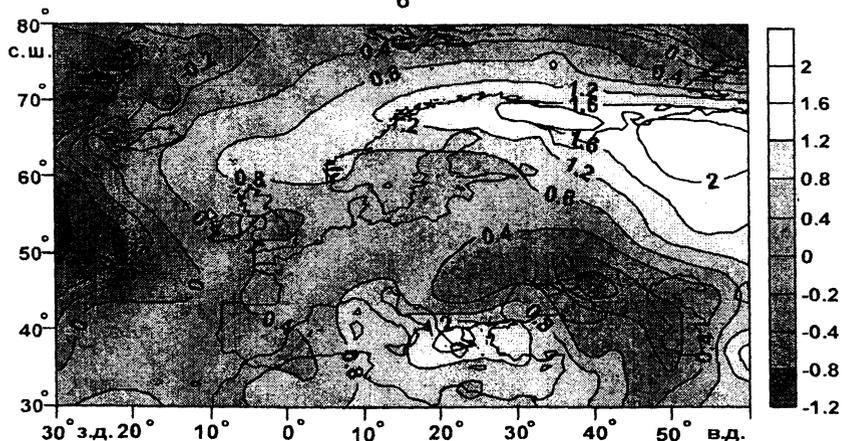
Характеристика	Севастополь						Феодосия						
	Зимние сезоны			Летние сезоны			Зимние сезоны			Летние сезоны			
	сухие	влажные	отношение влажных к сухим										
Число лет	5	7	–	5	5	–	5	7	–	5	5	–	
Число дней с осадками	135	293	–	56	115	–	125	243	–	30	92	–	
Доля дней с осадками	0,29	0,45	1,6	0,12	0,25	2,1	0,28	0,39	1,4	0,07	0,20	3,1	
Среднее за сезон, мм	67	175	2,6	41	143	3,5	49	132	2,7	30	163	5,4	
Среднее за дождливый день, мм	2,58	4,20	1,6	3,70	6,21	1,7	1,96	3,79	1,9	5,08	8,84	1,7	
Стандартное отклонение σ , мм	3,19	4,68	–	4,43	7,59	–	2,54	5,37	–	5,59	16,41	–	
Параметры гамма- распределения	α	0,65	0,81	–	0,70	0,67	–	0,59	0,50	–	0,82	0,29	–
	β	3,95	5,21	–	5,31	9,27	–	3,30	7,62	–	6,15	30,48	–
Значения осадков (мм), соответствующие периодам повторяемости (дни)	300	19	27	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	
	200	17	25	1,5	–	–	–	14	30	2,1	24	40	1,7
	100	15	22	1,5	25	79	3,2	12	25	2,1	21	35	1,7
	50	13	18	1,4	22	62	2,8	10	21	2,1	17	29	1,7
	10	7	10	1,4	13	26	2,0	5,5	11	2,0	9	15	1,7



а

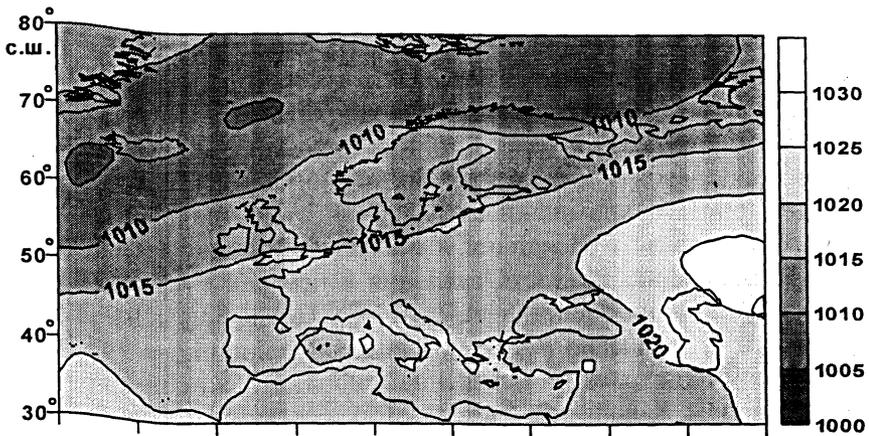


б

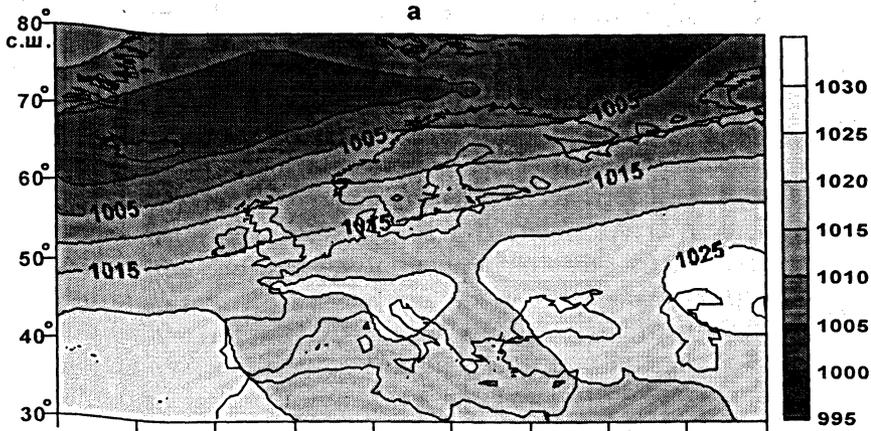


в

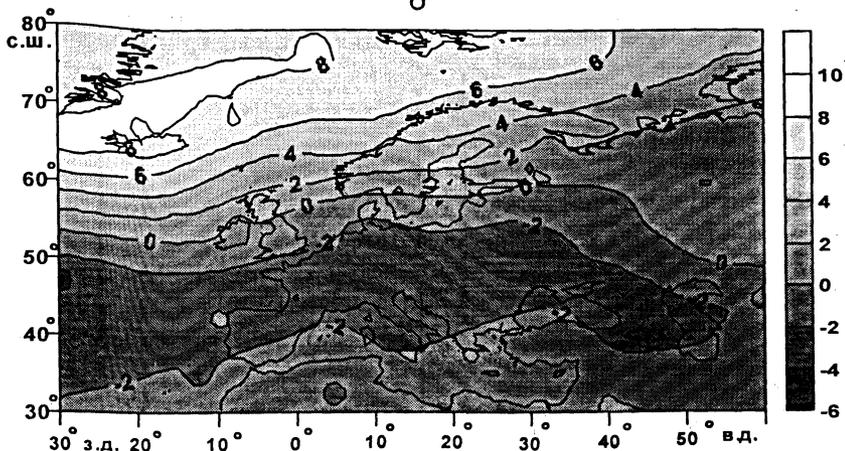
Р и с. 1. Композиты поля приземного давления (гПа) для летних влажных сезонов 1960, 1976, 1982, 1991, 1997 гг. (а) и летних сухих сезонов 1959, 1963, 1971, 1975, 1980 гг. (б), а также разность композитов полей приземного давления между влажными и сухими летними сезонами (в)



а



б



в

Р и с. 2. Композиты поля приземного давления (гПа) для зимних влажных сезонов 1967/68, 1978/79, 1980/81, 1981/82, 1984/85, 1987/88, 1991/92 гг. (а) и зимних сухих сезонов 1968/69, 1970/71, 1983/84, 1989/90, 1992/93 гг. (б), а также разность композитов полей приземного давления между влажными и сухими зимними сезонами (в)

Рассмотрим типичные крупномасштабные барические поля для летних и зимних композитов и их общие различия. На рис. 1 показаны карты приземного давления для Атлантико-Европейского сектора на основе данных, усредненных для выбранных влажных и сухих летних сезонов (рис. 1, а, б), и карты разности композитов (рис. 1, в). Как следует из них, поля приземного давления для влажных и сухих летних периодов имеют известные особенности: это область повышенного давления в Центральной Атлантике, пониженного – в области Исландии и общее понижение давления в юго-восточном направлении. Разность давления в центрах САК соответствует его летнему положению и составляет 7 – 8 гПа. Подчеркнем, что композитные карты (рис. 1, а, б) мало различаются (отклонение около 1 гПа), а распределение разностных величин давления (рис. 1, в) носит шумовой характер. Таким образом, какой-либо связи между осадками и крупномасштабными барическими полями в Атлантико-Европейском секторе для дождливых и сухих летних сезонов не прослеживается.

Ситуация принципиально отличается для зимнего сезона (рис. 2 а, б, в). Как видно из рис. 2, а, б, барические поля для сухих и влажных зим существенно различны. Величины разности давления во всем секторе на порядок превышают разности композитов для летнего сезона (2, в). Причем пространственная картина разностного поля полностью соответствует изменению САК, заключающемуся в смещении области минимального давления на северо-запад от его средnezимнего положения, и увеличению абсолютной величины самого перепада давления между центрами САК. Результатом этого и являются смещение штормтреков на север и соответственно уменьшение числа циклонов и связанных с ними осадков во всей южной части сектора, т.е. в широтном секторе 40 – 55° с.ш. от Атлантического океана до Черного и Каспийского морей. Повышенным осадкам в этом регионе соответствует область пониженного давления.

Таким образом, отмеченная в начале статьи связь между изменением режима погоды в Европе и Североатлантическим колебанием в зимний период полностью подтверждается на примере композитного анализа осадков по данным на двух станциях Черноморского региона. При этом сама разностная мода приземного давления, вследствие операции усреднения по нескольким выборочным полям, имеет достаточно гладкий вид и легко находит объяснение. Она более адекватно отражает качественный механизм формирования аномально влажных или сухих зим, чем простые коэффициенты корреляции. Коэффициенты корреляции между осадками и индексами САК в силу присутствия шумовых составляющих и многофакторности связей локальных и крупномасштабных полей имели небольшие величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов В.В., Шокуров М.В., Барабанов В.С.* Статистическое моделирование месячных аномалий атмосферных осадков для региона Украины и Черного моря // *Морской гидрофизический журнал.* – 2002. – № 1. – С. 35 – 50.
2. *Osborn T.J.* Recent variations in the winter North Atlantic Oscillation // *Weath.* – 2006. – 61, №12. – P. 353 – 355.

3. *Hurrell J.W.* Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperature and precipitation // *Science*. – 1995. – 269. – P. 676 – 679.
4. *Graham R., Gordon C., Huddleston M.R. et al.* The 2005/2006 winter in Europe and the United Kingdom: Part 1. How the Met office forecast was produced and communicated // *Weath.* – 2006. – 61, №12. – P. 327 – 336.
5. *Kalnay E., Kanamitsu M., Kisler R. et al.* The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project // *Bull. Amer. Meteor. Soc.* – 1996. – 77. – P. 437 – 471.
6. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/indices.html/>.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 02.04.07
После доработки 12.04.07

ABSTRACT Based on the data of the seaside hydrometeorological stations in Sevastopol and Feodosiya, considered are the climatic features of precipitation formation and their connection with baric situation in the Atlantic-European sector. The data arrays of daily precipitation in these points in 1900-2005 and also the data of reanalysis of the atmospheric pressure fields in the Atlantic-European sector are used as initial ones. Comparative statistical analysis of daily precipitation during damp and dry summer and winter seasons is done. Extremely high precipitation values for the preset repeatability periods are estimated. Dependence of damp and dry winter seasons in Sevastopol and Feodosiya upon the large-scale atmospheric pressure fields in the Atlantic-European sector is confirmed.