УДК 913 (4):551.583.2

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ РЕГИОНОВ СРЕДИЗЕМНОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

Е.Н. Воскресенская, А.А. Стефанович

Институт природно-технических систем
г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: elena_voskr@mail.ru

В статье приводятся результаты анализа климатических изменений гидрометеорологических характеристик на побережье Средиземного и Черного морей с использованием данных наблюдений в 11 пунктах за период с 1950 по 2014 гг. Оценены линейные тренды, показано наличие низкочастотной изменчивости и произведен прогноз изменений рассматриваемых параметров.

Введение. Процесс глобального изменения климата в Европе за последние несколько десятилетий становиться все заметнее. К концу XX в. накопилось множество научных подтверждений, свидетельствующих об ускорении этого процесса и положительной тенденции роста среднегодовых температур. Большинство публикаций в качестве основной причины данного явления указывают антропогенное увеличение парниковых газов в атмосфере [1, 2]. Однако в других публикациях допускаются и другие факторы, которые вносят свой вклад в наблюдаемые изменения климата. Это, прежде всего, естественные факторы, такие как солнечная активность, изменение параметров орбиты Земли, вулканическая активность [4]. В то же время, многие исследователи отмечают существенный вклад глобальных процессов в системе океан – атмосфера в наблюдаемые изменения климата, например, [6, 7].

Тенденция потепления в Европе проявляется как на прибрежной территории Средиземного моря, так и в самой восточной её части, в акватории Черного моря и на территории Крымского полуострова [3]. При этом региональные особенности климатических изменений в данных районах остаются еще недостаточно изученными. В этой связи анализ климатических изменений гидрометеорологических характеристик на побережье Средиземного и Черного морей в период с 1950 по 2014 гг. составит основу исследований в настоящей работе.

Используемые данные. Для решения поставленных задач использованы данные климатических архивов European Climate Assessment & Dataset (ECA&D), включающих наиболее полные данные метеорологических наблюдений в пунктах прибрежных районов Средиземного и Черного морей. Среди них 11 пунктов обеспечены данными за 64 года, с 1950 г. по настоящее время, а также несколько станций, данные наблюдений на которых начинаются с 1900 г. Указанными пунктами по данным наблюдений являются метеостанции, расположенные в следующих городах: Аликанте, Анапа, Валенсия, Генуя, Евпатория, Керчь, Марсель, Риека, Севастополь, Сочи, Сплит, Феодосия, Ялта. В качестве материалов для проведения анализа привлекались временные ряды данных с этих станций следующих параметров: среднегодовая максимальная (TX) и минимальная (TN) температура воздуха, среднегодовая сумма атмосферных осадков (PP), среднегодовые показатели влажности (HU) и давления (SP). По каждому параметру за одинаковый промежуток времени с использованием стандартных процедур рассчитаны коэффициенты линейного тренда.

Рассмотрим результаты расчетов линейных трендов, проведенных за 64-летний период по станциям. Для минимальных температур воздуха коэффициенты линейных трендов приведены в табл. 1. Видно, что для среднегодовых минимальных температур тренды, оцененные на 99% уровне значимости, для всех прибрежных станций северных частей Черного и Средиземного морей имеют положительный знак. При этом более стремительный рост этого параметра характерен для станций Валенсия, Евпатория и Анапа, расположенных на участках побережья, граничащего с хорошо прогреваемыми или степными частями материка. Менее выражен он в Сочи, Сплите, Феодосии и Ялте и также объясняется региональными условиями рельефа.

Таблица 1

Линейные тренды минимальных температур, °С/64 года

№	Станция	Период, гг.	Коэффициент тренда
1	Аликанте	1950 – 2014	0,02564****
2	Анапа	1950 – 2014	0,029416****
3	Валенсия	1950 – 2014	0,037802****
4	Евпатория	1950 – 2014	0,030174****
5	Керчь	1950 – 2014	0,017108****
6	Риека	1950 – 2014	0,010746****
7	Севастополь	1950 – 2014	0,025703****
8	Сочи	1950 – 2012	0,011962****
9	Сплит	1950 – 2013	0,015957****
10	Феодосия	1950 – 2014	0,013815****
11	Ялта	1950 – 2014	0,016703****

Уровни значимости: * – 80%, ** – 90%, *** – 95%, **** – 99%.

Таблица 2

Линейные тренды максимальных температур, °С/64 года

№	Станция	Период, гг.	Коэффициент тренда
1	Аликанте	1950 – 2014	-0,01083****
2	Анапа	1950 – 2014	0,012722***
3	Валенсия	1950 – 2014	0,028866****
4	Евпатория	1950 – 2014	0,002822
5	Керчь	1950 – 2014	0,019548****
6	Риека	1950 – 2014	0,027977****
7	Севастополь	1950 – 2014	0,008136*
8	Сочи	1950 – 2012	0,01158***
9	Сплит	1950 – 2013	0,013493****
10	Феодосия	1950 – 2014	0,024377****
11	Ялта	1950 – 2014	0,015116****

Уровни значимости: * – 80%, ** – 90%, *** – 95%, **** – 99%.

Для линейных трендов максимальных температур воздуха (табл. 2), значимых на 95 – 99% уровне, так же, как и для минимальных, тенденция роста сохраняется. Из табл. 2 видно, что она особенно выражена в районах станций Риека, Валенсия и Феодосия. Исключение составляет станция Аликанте, для которой обнаружен отрицательный знак тренда, величина его невелика, но на 99% уровне значима. Таким образом, можно заключить, что в период со второй половины XX века до настоящего времени наблюдается преимущественное повышение предельных величин температуры воздуха на побережье северной части Черного и Средиземного морей.

Табл. 3, в которой приведены результаты расчета линейных трендов осадков, демонстрирует отсутствие значимых величин этого параметра за исключением станции Феодосия, где положительный тренд, значимый на 99% уровне, превышает 3 мм за 64 года. Однако, в целом рассматриваемый параметр изменяется несущественно. Предыдущие оценки трендов осадков, проведенные для Крыма [5, 6], подтверждают полученный результат. На этом основании можно отметить, что на территории Средиземноморского и Черноморского регионов изменение атмосферных осадков в изучаемый период в целом незначительное, что говорит об устойчивом преобладании западного переноса воздушных масс с Атлантики.

Таблица 3

Линейные тренды осадков, мм/64 года

№	Станция	Период, гг.	Коэффициент тренда
1	Аликанте	1950 – 2014	-1,30537**
2	Анапа	1950 – 2013	-0,80392
3	Валенсия	1950 – 2014	-0,14111
4	Евпатория	1950 – 2014	0,164068
5	Керчь	1950 – 2014	0,822736*
6	Риека	1950 – 2014	1,669764
7	Севастополь	1950 – 2014	-0,15317
8	Сочи	1950 – 2011	2,54182*
9	Сплит	1950 – 2013	-0,32602
10	Феодосия	1950 – 2014	3,166838****
11	Ялта	1950 – 2014	-0,63238

Уровни значимости: * – 80%, ** – 90%, *** – 95%, **** – 99%.

Анализ более длинных рядов осадков за 1900 – 2014 гг. также не выявил значимых линейных трендов. Только на станции Генуя в этот период отмечается положительный тренд с коэффициентом 0,182714, однако статистическая значимость его не достигает 80% уровня.

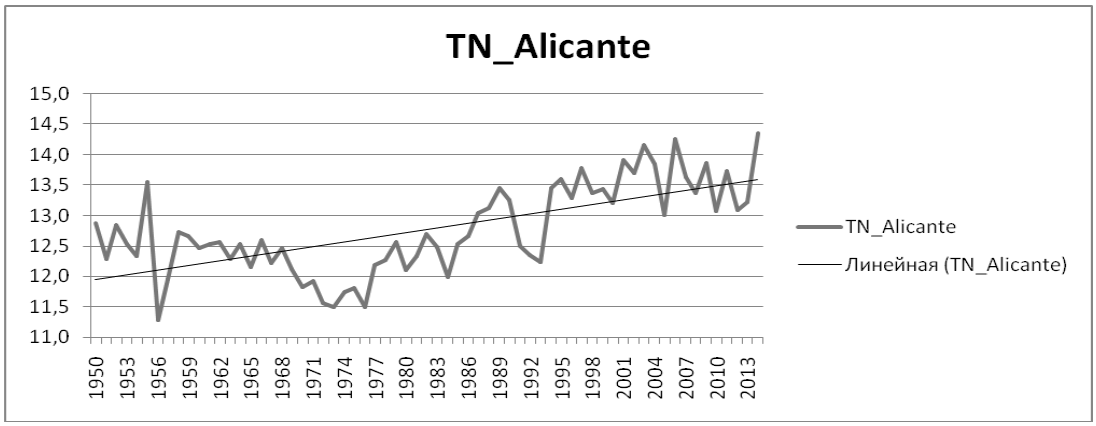
Подобного вывода нельзя сделать относительно характера изменения влажности в анализируемых пунктах (таблица не приводится). Причем, так же, как и для температурных характеристик, линейные тренды влажности преимущественно значимы на 99% уровне. Однако в противоположность изменению максимальной температуры воздуха большинство трендов влажности имеют отрицательный знак. Их максимальные по абсолютной величине значения отмечаются в Риеке -0,07164 и Сплите -0,04451. При этом на станции Аликанте отрицательному тренду этой температурной характеристики противопоставлен положительный тренд влажности 0,058605 мб/64 года.

Таким образом, в период со второй половины XX века до настоящего времени наблюдается преимущественное повышение предельных величин температуры воздуха и понижение влажности на побережье северной части Черного и Средиземного морей за исключением восточных районов Испании (ст. Аликанте). Изменение атмосферных осадков в изучаемый период в исследуемом регионе в целом незначимое.

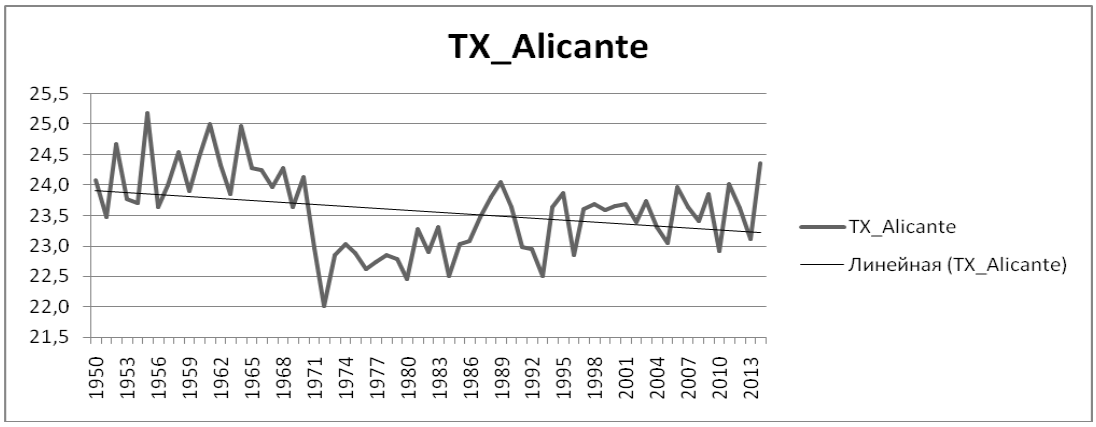
Анализ временного хода всех рассматриваемых в работе характеристик на станциях, находящихся в разных природных зонах и орографических условиях, показал наличие квазипериодических колебаний межгодового и междесятилетнего масштабов. Это наглядно демонстрируется на рис. 1, где в качестве примера приведены графики соответствующих изменений на станции Аликанте. На междесятилетнем масштабе обращает на себя внимание смена режима гидрометеорологических характеристик во второй половине 1970-х годов. В литературе отмеченное явления получило название климатического сдвига [4, 7, 8]. Его природу связывают со сменой фазы Тихоокеанской декадной осцилляции [9].

Спектральный анализ исходных данных анализируемых параметров по всем станциям обнаруживает типичные периоды изменчивости. Такие периоды имеют квазидвухлетний, трех-четырех и семи-восьмилетний масштабы. По рядам данных за 1900 – 2014 гг. дополнительно выделяются еще 11-12 и квазидвадцатилетняя периодичность. Причем, каждый из отмеченных масштабов обнаружен как в среднегодовых и средних за сезоны рядах, так и в данных для каждого месяца. Все выделенные периодичности обусловлены процессами соответствующего масштаба в глобальной системе океан – атмосфера (см. например, [4, 9]).

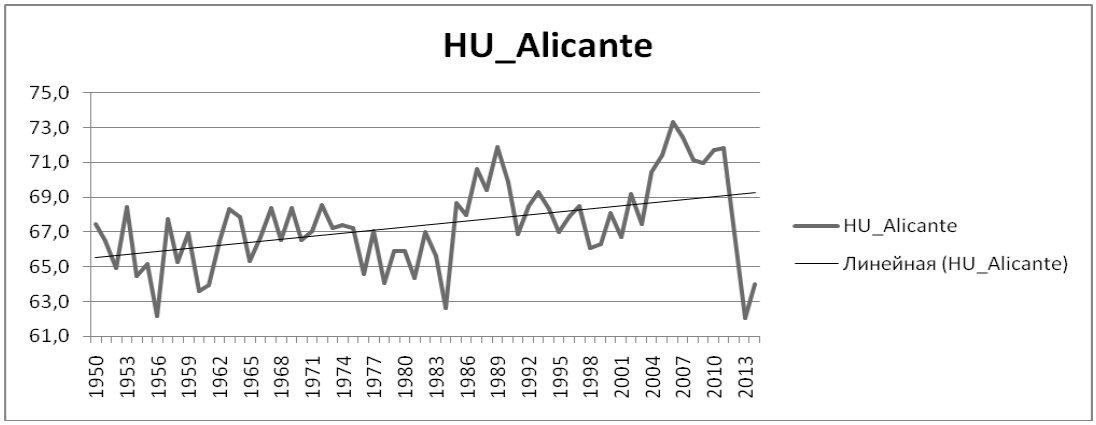
а)



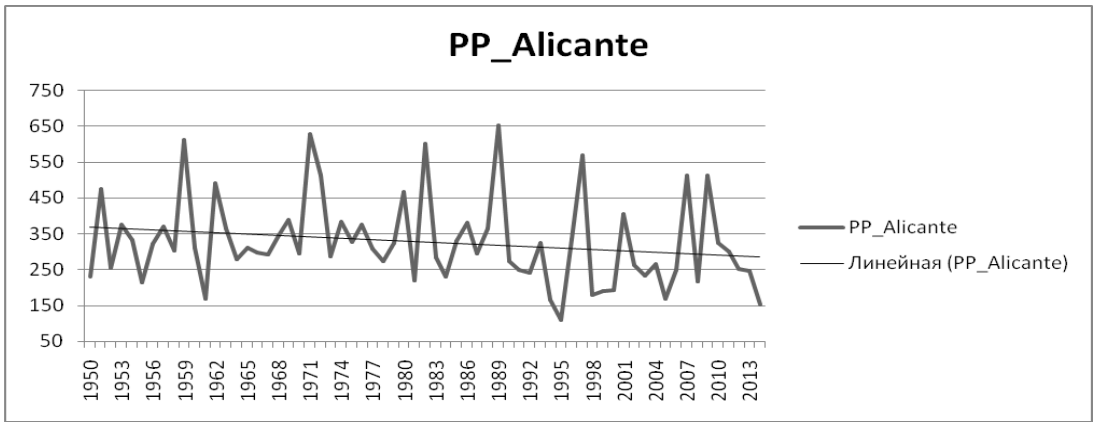
б)



в)



г)



Р и с. 1. Временной ход среднегодовых минимальных (а) и максимальных (б) температур, влажности воздуха (в), осадков (г) на станции Аликанте в 1950 – 2014 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке ВОО «Русское географическое общество» в рамках гранта «Комплексный анализ природно-климатического потенциала и его будущих изменений на территории Крыма и в прибрежной зоне Черного моря для перспективного планирования устойчивого развития региона».

Заключение.

1. Исследуемый период со второй половины XX века до настоящего времени характеризуется положительными линейными трендами предельных величин температуры воздуха на большей части прибрежных районов на севере Черного и Средиземного морей. При этом влажность воздуха там понижается за исключением восточных районов Испании (ст. Аликанте).

2. В долговременных изменениях атмосферных осадков в тот же период статистически значимых величин линейных трендов не обнаружено в целом для исследуемого региона. Подобные тенденции отмечаются в поведении всех анализируемых характеристик для более продолжительного периода, с 1900 г. по настоящее время.

3. Исходя из выявленных тенденций, изменения среднегодовых величин предельных температур воздуха в последующие годы на северном побережье Средиземного и Черного морей будут проходить в сторону увеличения со скоростью 0,0001 – 0,0004°С/год**,** а влажность, напротив, уменьшаться. Исключение составляет город Аликанте, где прогнозируется понижение показателей максимальной температуры. При этом среднегодовое количество осадков будет изменяться незначительно.

4. Повышение температуры воздуха и понижение влажности может оказывать негативное влияние на рекреационные условия, особенно в летний период.

5. В характере поведения анализируемых параметров во всем изучаемом регионе обнаружены межгодовой – междесятилетний масштабы изменчивости. Отмеченные особенности обусловлены процессами соответствующего масштаба в глобальной системе океан-атмосфера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *МГЭИК*, 2007: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Р.К. Пачаури, А. Райзингер и основная группа авторов (ред.). – Женева, 2007. – 104 с.
2. *Энергетическая* безопасность и проблема изменения климата. Диалог: Россия – Европейский союз / И.Г. Грицевич, А.О. Кокорин. – Москва: WWF России, 2006. – 32 с.
3. *Ильин Ю.П., Репетин Л.Н.* Вековые изменения температуры воздуха в регионе Черного моря и их сезонный особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: Сб. науч. трудов. – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2006. – Вып. 14. – С. 444–456.
4. *Полонский А.Б.* Роль океана в современных изменениях климата // Там же. – 2001. – № 6. − С. 32−58.
5. *Вышкваркова Е.В., Воскресенская Е.Н.* Пространственное распределение экстремальных осадков на территории Крымского полуострова // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ. – 2014. – Вып. 20. – С. 136–140.
6. *Воскресенская Е.Н, Вышкваркова Е.В.* Экстремальные осадки в Украине и глобальные климатические процессы. – Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 147 с.
7. *Alpert P., Price C., Krichak S.O.* Tropical teleconnections to the Mediterranean climate and weather // Adv. Geosci. – 2005. – V. 2. – P. 157–160.
8. *Mantua N. J.* Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production / N.J. Mantua, S.R. Hare, Y. Zhang [et al.] // BAMS. – 1997. – 78. – P. 1069–1079.
9. *Бардин М.Ю, Воскресенская Е.Н.* Тихоокеанская декадная осцилляция и европейские климатические аномалии // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – № 4. – С. 13–23.