

ДЛИННОПЕРИОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ УКРАИНЫ

Выполнен спектральный анализ рядов средних годовых (1945-2009 гг.) и пятилетних (1925-2009 гг.) показателей гидрометеорологического режима черноморской прибрежной зоны Украины с целью описания низкочастотных компонент изменчивости в присутствии линейных трендов и высокочастотного «шума». Получены количественные оценки относительного вклада в суммарную изменчивость всех ее составляющих (тренд, низкочастотные колебания и межгодовые вариации). Аппроксимация рядов суммой тренда и длиннопериодных колебаний позволяет оценить возможные изменения гидрометеорологических условий в ближайшие десятилетия. Проверка полученных оценок с помощью независимых среднегодовых данных 2010-2013 гг., в основном, подтверждает выявленные тенденции.

Ключевые слова: скорость ветра, температура воздуха и воды, атмосферные осадки, уровень моря, соленость морской воды, линейные тренды, спектральный анализ.

Введение

Многолетние и межгодовые изменения гидрометеорологических условий (ГМУ) черноморской прибрежной зоны Украины могут рассматриваться как суперпозиция колебаний различного периода под воздействием естественных и антропогенных процессов. Эти изменения описываются вариациями рядов среднегодовых величин скорости ветра, температуры воздуха и воды, атмосферных осадков, уровня моря и солености морской воды [1-6]. В работе [2] установлено, что на межгодовую и междесятилетнюю (декадную) изменчивость перечисленных показателей преимущественное влияние оказывают внешние для региона факторы, за исключением солености, где значимый вклад вносят местные условия. Поэтому для характеристики ГМУ всего побережья в целом могут быть использованы средние значения среднегодовых величин, полученные по данным нескольких репрезентативных станций побережья Крыма и северо-западной части Черного моря. В работах [1, 4-6] показано, что многолетние изменения этих величин характеризуются положительными или отрицательными линейными трендами, на фоне которых происходят межгодовые и декадные колебания показателей. Для корректной оценки значимых периодов долгопериодных флуктуаций и последующей аппроксимации низкочастотных вариаций временных рядов обычно применяются методы спектрального анализа с предваритель-

ной фильтрацией высокочастотных компонент межгодовой изменчивости.

Целями работы являются: 1) исследование низкочастотной спектральной структуры временных рядов; 2) аппроксимация суммарной длиннопериодной изменчивости аналитическими выражениями; 3) определение относительного вклада различных видов изменчивости — линейного тренда, низкочастотных и высокочастотных вариаций. Одна из задач такого анализа — прогноз (по крайней мере, на ближайшие десятилетия) изменений гидрометеорологического режима украинской части черноморского побережья в целом — от восточного Крыма до устья р. Дунай.

Исходные данные

В качестве исходных данных использовались материалы наблюдений морских гидрометстанций Украины, расположенных на побережье Черного моря: Приморское, Одесса, Хорлы, Евпатория, Севастополь, Херсонесский маяк, Ялта и Феодосия [2-4]. Построены временные ряды среднегодовых значений скорости ветра (W , м/с), температуры воздуха (T_A , °C) и воды (T_W , °C), уровня моря (SL , см) и солености (S , ‰), а также годовых сумм атмосферных осадков (PR , мм) за период 1945-2009 гг. (для солености — за 1952-2009 гг.), осредненных для черноморского побережья Украины. В качестве независимых (проверочных) значений использованы аналогичные

данные за 2010-2013 гг. Кроме того, для анализа междесятилетней изменчивости в условиях отсутствия (подавления) межгодовых вариаций построены ряды пятилетних средних за период 1925-2009 гг., 17 значений (для солености 12 – за 1950-2009 гг.) [2, 3].

Методы исследования

Временной ряд какого-либо показателя μ может быть представлен в виде суммы линейного тренда, некоторого количества низкочастотных гармонических колебаний и остатка, описывающего высокочастотные колебания и ошибки аппроксимации:

$$\mu(t) = \mu_0 + at + \sum_{i=1}^N \mu_i(t) + \mu'(t), \quad (1)$$

где t – время (годы); μ_0 – начальное значение показателя; a – коэффициент линейного тренда; N – количество гармоник, которыми описываются низкочастотные вариации ряда; μ' – высокочастотные (межгодовые) флуктуации, включающие и ошибки аппроксимации (1).

Каждая i -ая гармоника определяется формулой

$$\mu_i(t) = A_i \cos [2\pi(t - t_0)/T_i - \varphi_i], \quad (2)$$

где t_0 – начальный год ряда; A_i – амплитуда, T_i – период, φ_i – фаза соответствующей синусоиды.

Задача сводится к последовательности операций:

а) оценка и вычитание из исходных рядов линейных трендов, т.е. первых двух слагаемых формулы (1);

б) оценка числа и параметров низкочастотных гармонических компонент рядов (2);

в) вычитание из каждого значения исходных рядов соответствующих рассчитанных значений первых трех слагаемых (1) с целью определения высокочастотных флуктуаций (в данном случае – шумовых компонент).

Имея оценки дисперсии исходных рядов и их шумовых составляющих, а также коэффициенты детерминации линейных трендов ($R_{\text{тр}}^2$), легко вычислить доли дисперсии высокочастотных ($R_{\text{вч}}^2$) и низкочастотных ($R_{\text{нч}}^2$) компонент рядов.

В этом алгоритме основная роль принадлежит второму этапу, т.е. гармоническому анализу рядов отклонений от трендов. В работе для этой цели применялся метод спектрального анализа посредством периодограммы Ломба, реализованный в пакете статистического анализа PAST [8] (последняя версия программы – <http://folk.uio.no/ohammer/past>) и использованный ранее в

работе [1]. Этот же метод лежит в основе последующей синусоидальной аппроксимации рядов.

Поскольку длина исходных рядов среднегодовых величин не превышает 65 лет, спектральный анализ не позволяет определить значимые пики низкочастотных колебаний. Поэтому выполнялась предварительная линейная фильтрация этих рядов посредством скользящего осреднения с окном фильтра 11 лет. Величина окна подбиралась экспериментально с целью подавления вариаций с меньшими периодами.

На рис. 1 в качестве примера приведены спектры температуры воздуха и уровня моря до и после фильтрации. По горизонтальным осям отложены значения частоты ($f = 1/T$), а по вертикальным – нормированная спектральная плотность или мощность (величина, пропорциональная квадрату амплитуды колебаний). Горизонтальные пунктирные линии отмечают уровни значимости 95 % (нижняя) и 99 %.

Из рис. 1 видно, что после подавления высокочастотных флуктуаций на спектре температуры воздуха появился мощный низкочастотный пик (период около 47 лет), значимый на уровне, превышающем 99 %, а на спектре уровня моря появились два пика – на периодах около 43 лет (значимость более 99 %) и около 20 лет (на уровне 95 %).

Далее выполнялась синусоидальная аппроксимация рядов отклонений от трендов с целью уточнения числа и параметров основных низкочастотных гармоник. Эта процедура состоит в пошаговом задании периодов и МНК-оценке остальных параметров синусоид, начиная от периодов спектральных пиков периодограммы Ломба и до некоторого порогового значения, после которого критерии оценки не выполняются. Во-первых, не задавались периоды около или менее длины окна фильтра (11 лет). Во-вторых, обеспечивался рост коэффициента детерминации суммы аппроксимирующих гармоник при снижении значения информационного критерия Акаике [8] (характеризующего баланс между числом гармоник и ошибкой аппроксимации) и увеличении уровня статистической значимости аппроксимации.

Для коротких рядов среднепятилетних величин гармонический анализ выполнялся только методом синусоидальной аппроксимации. Поскольку высокочастотные межгодовые флуктуации в этих рядах подавлены осреднением по пятилетиям, пороговый период для аппроксимирующих гармоник соответствует частоте Найквиста ($f_n = 1/(2\Delta t)$, где $\Delta t = 5$ лет – дискретность ряда),

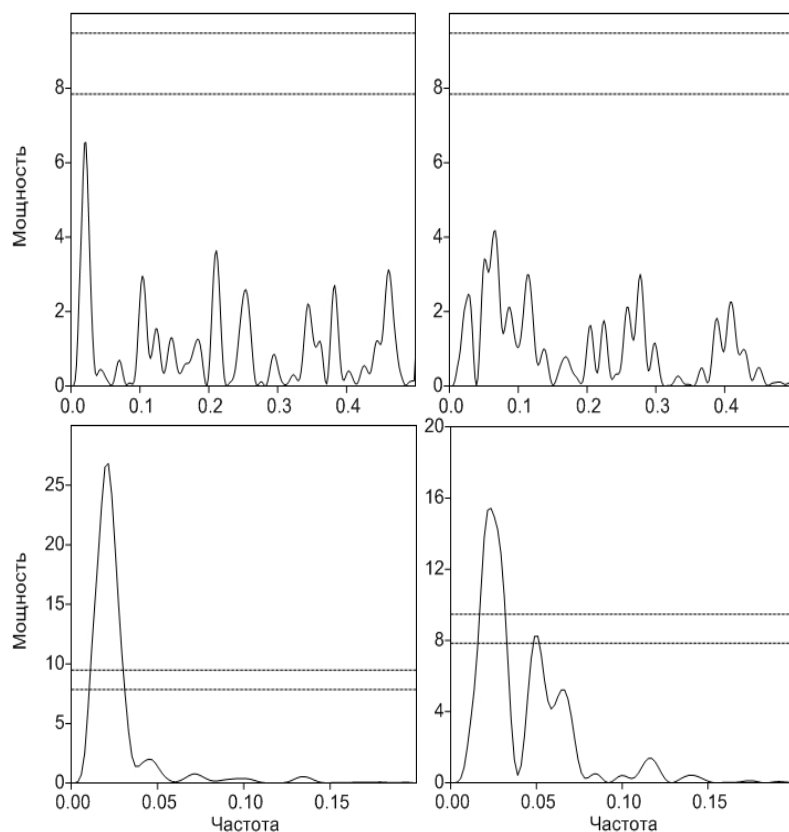


Рис. 1. Периодограммы Ломба среднегодовых отклонений от трендов температуры воздуха (слева) и уровня моря (справа) до (сверху) и после (снизу) фильтрации скользящим средним с окном 11 лет

то есть не задавались периоды около или менее 10 лет.

Анализ и обсуждение результатов

Параметры линейных трендов среднегодовых показателей ГМУ черноморского побережья Украины взяты из работы [4]. Уравнения линейных трендов для всех перечисленных рядов среднепятилетних величин оценивались в настоящей работе (табл. 1, X – центральный год пятилетки). Из всех сопутствующих параметров регрессии приведены только коэффициенты детерминации $R^2_{тр}$, как наиболее наглядно характеризующие долю суммарной дисперсии, объясняемой линейным трендом. Уравнения трендов скорости ветра, осадков, уровня моря и солености, приведенные в табл. 1, имеют коэффициенты наклона, значимые с вероятностью, намного превышающей принятый в климатологии порог 95%. Тренды температуры воздуха и воды получились незначимыми по этому критерию. Тем не менее, они также численно учитывались при подготовке исходных рядов к спектральному анализу.

Параметры гармоник, аппроксимирующих долгопериодные вариации рядов отклонений от

трендов среднегодовых и среднепятилетних показателей ГМУ, представлены в табл. 2, 3. Для каждого набора этих параметров в таблицах приведены величины смещения оценки от нулевого значения (const) и коэффициент детерминации синусоидальной аппроксимации $R^2_{ап}$, (доля дисперсии, описываемая аппроксимирующей кривой при отсутствии линейного тренда).

Из табл. 2 видно, что низкочастотные вариации скорости ветра, а также температур воздуха и воды с высокой достоверностью описываются двумя гармониками. Отклонения от трендов уровня моря и солености воды аппроксимируются суммой четырех синусоид, а количества осадков – трех. В табл. 3 флуктуации большинства показателей описываются суммой четырех гармоник, за исключением уровня моря, который достаточно хорошо аппроксимируется тремя синусоидами.

В работе [1] показано, что основным периодом междесятилетней изменчивости последнего столетия является период около 70 лет, который проявляется в рядах индексов Атлантической Мультидекадной Осцилляции (АМО) и Северо-Атлантического Колебания (САК). Кроме того, значимые пики обнаружены в рядах САК на масштабах более высокочастотных междесятилетних колебаний (34, 22 лет).

Таблица 1
Уравнения линейных трендов средних пятилетних значений элементов гидрометеорологического режима черноморского побережья Украины за 1925-2009 гг. (для солености 1950-2009 гг.)

Показатель	Уравнение тренда	$R^2_{тр}$
Скорость ветра, м/с	$W = -0,0174 * X + 38,691$	0,855
Температура воздуха, °С	$TA = 0,0079 * X - 3,7297$	0,169
Температура воды, °С	$TW = 0,0072 * X - 0,934$	0,154
Атм. осадки, мм	$PR = 1,3481 * X - 2205,6$	0,437
Уровень моря, см	$SL = 0,1918 * X + 101,99$	0,71
Соленость, ‰	$S = -0,0132 * X + 42,363$	0,721

Таблица 2
 Параметры синусоидальной аппроксимации рядов отклонений от трендов среднегодовых показателей гидрометеорологического режима черноморского побережья Украины

Показатель	Период, годы	Амплитуда	Фаза, рад.	const	R ² _{ан}
Скорость ветра, м/с	46,44	0,131	-2,78	0,021	0,964
	20,58	0,0274	-2,45		
Температура воздуха, °С	49,86	0,46	1,51	-0,049	0,948
	39,26	0,196	-1,74		
Температура воды, °С	48,67	0,407	1,83	-0,056	0,944
	32,38	0,132	-0,77		
Годовая сумма атмосферных осадков, мм	64,00	40,1	-2,91	-4,247	0,797
	47,53	39,3	1,88		
	16,97	9,62	1,69		
Уровень моря, см	42,55	2,66	-2,65	0,222	0,929
	35,80	1,42	2,15		
	18,35	1,05	-0,61		
	16,03	1,15	2,70		
Соленость воды, ‰	51,26	0,15	-2,30	0,023	0,944
	24,32	0,143	-3,03		
	21,96	0,147	0,28		
	15,22	0,04	2,90		

Таблица 3
 Параметры синусоидальной аппроксимации рядов отклонений от трендов средних пятилетних показателей гидрометеорологического режима черноморского побережья Украины

Показатель	Период, годы	Амплитуда	Фаза, рад.	const	R ² _{ан}
Скорость ветра, м/с	68,67	0,232	-2,83	0,040	0,985
	27,47	0,043	-1,50		
	19,14	0,030	-1,10		
	14,10	0,040	2,19		
Температура воздуха, °С	62,99	0,246	2,04	-0,080	0,922
	34,26	0,377	1,37		
	22,82	0,192	2,59		
Температура воды, °С	62,99	0,27	2,20	-0,061	0,927
	33,09	0,36	1,77		
	22,58	0,143	2,72		
Годовая сумма атмосферных осадков, мм	62,26	12,1	-1,26	-1,064	0,836
	31,25	33,6	1,87		
	23,95	22,1	2,28		
Уровень моря, см	31,71	1,92	1,91	-0,084	0,826
	20,42	2,26	-2,11		
	14,75	2,10	-1,30		
Соленость воды, ‰	60,00	0,336	3,11	-0,021	0,983
	51,99	0,249	0,10		
	20,25	0,075	1,76		
	14,08	0,120	-0,14		

Близкие периоды существуют и в рядах показателей солнечной активности. Суперпозиция гармонических функций с периодами АМО и

САК удовлетворительно описывает многолетние (климатические) флуктуации основных показателей гидрометеорологического режима Черного моря, отражая также различия климатических условий в разных районах побережья Украины.

Поскольку в настоящей работе использованы ряды годовых и пятилетних средних значений элементов режима, осредненных по всему побережью – от восточного Крыма до устья р. Дунай, параметры аппроксимирующих синусоид также характеризуют некоторые средние величины для побережья. Кроме того, в процессе синусоидальной аппроксимации получились достаточно устойчивые оценки еще более коротких периодов – 14-17 лет для разных элементов.

Наконец, длина использованных рядов среднегодовых значений сопоставима с квази-70-летним периодом АМО/САК, что не дает возможности уверенно выделять его. Очевидно, наиболее длинные периоды в табл. 2 (от 43 до 64 лет у разных показателей) являются приближением или биениями этого сигнала. Впрочем, в различных исследованиях сообщается об аналогичном колебании в диапазоне периодов 50-80 лет [7], что, по-видимому, свидетельствует о различном характере его проявлений в разных районах и для разных показателей.

Ряды средних пятилетних значений охватывают интервал времени 1925-2009 гг. (85 лет), поэтому почти у всех показателей удалось получить значимые гармоники с периодами в диапазоне 60-70 лет (табл. 3), кроме уровня моря, у которого это колебание имеет малую амплитуду.

Результаты аппроксимации рядов среднегодовых значений суммой линейного тренда и гармонических колебаний (1), (2) представлены на рис. 2 вместе с исходными (нефильтрованными) рядами. Квадратными символами указаны независимые величины, полученные по данным измерений 2010-2013 гг.

Диапазон расчета аппроксимирующих кривых на рис. 2 увеличен до 2020 г., что позволяет спрогнозировать изменение компонент ГМУ в текущем десятилетии. Учитывая преобладание высокочастотных межгодовых флуктуаций в изменчивости данного вида рядов (табл. 4), больший период прогноза лишен смысла.

Из данных табл. 4 для среднегодовых показателей следует, что основной вклад в изменчивость скорости ветра вносит линейный тренд, а осадков и температуры – высокочастотные межгодовые флуктуации. Доли дисперсии трендов и высокочастотных колебаний у рядов среднегодовых величин уровня и солености приблизительно одинаковы.

Таблиця 4

Доля різних видів изменчивости в рядах показателів ГМУ українського побережжя Чорного моря (відносно повної дисперсії)

Показатель	Среднегодовые (1945-2009)			Ср. пятилетние (1925-2009)		
	$R^2_{тр}$	$R^2_{нч}$	$R^2_{вч}$	$R^2_{тр}$	$R^2_{нч}$	$R^2_{вч}$
W	0,869	0,044	0,087	0,855	0,143	0,003
PR	0,133	0,075	0,792	0,437	0,469	0,094
TA	0,133	0,194	0,674	0,169	0,764	0,067
TW	0,109	0,196	0,695	0,154	0,783	0,063
SL	0,372	0,141	0,487	0,710	0,239	0,051
S	0,389	0,246	0,366	0,721	0,274	0,005

У чотирьох показателів (W, PR, SL, S) вклад низкочастотних коливань в изменчивость середньорічних величин найменший і тільки у температур повітря і води вклад довгоперіодних компонент перевищує частку лінійного тренда.

Інша структура изменчивости спостерігається в табл. 4 у рядах середньпятирічних величин: із-за подавлення короткоперіодних міжрічних флуктуацій при осередненні по п'ятиліткам вклад високочастотної компоненти для всіх показателів мінімальний і характеризує практично частку помилок апроксимації. При цьому суттєво зросла частка довгоперіодних коливань, в особливості температур повітря і води.

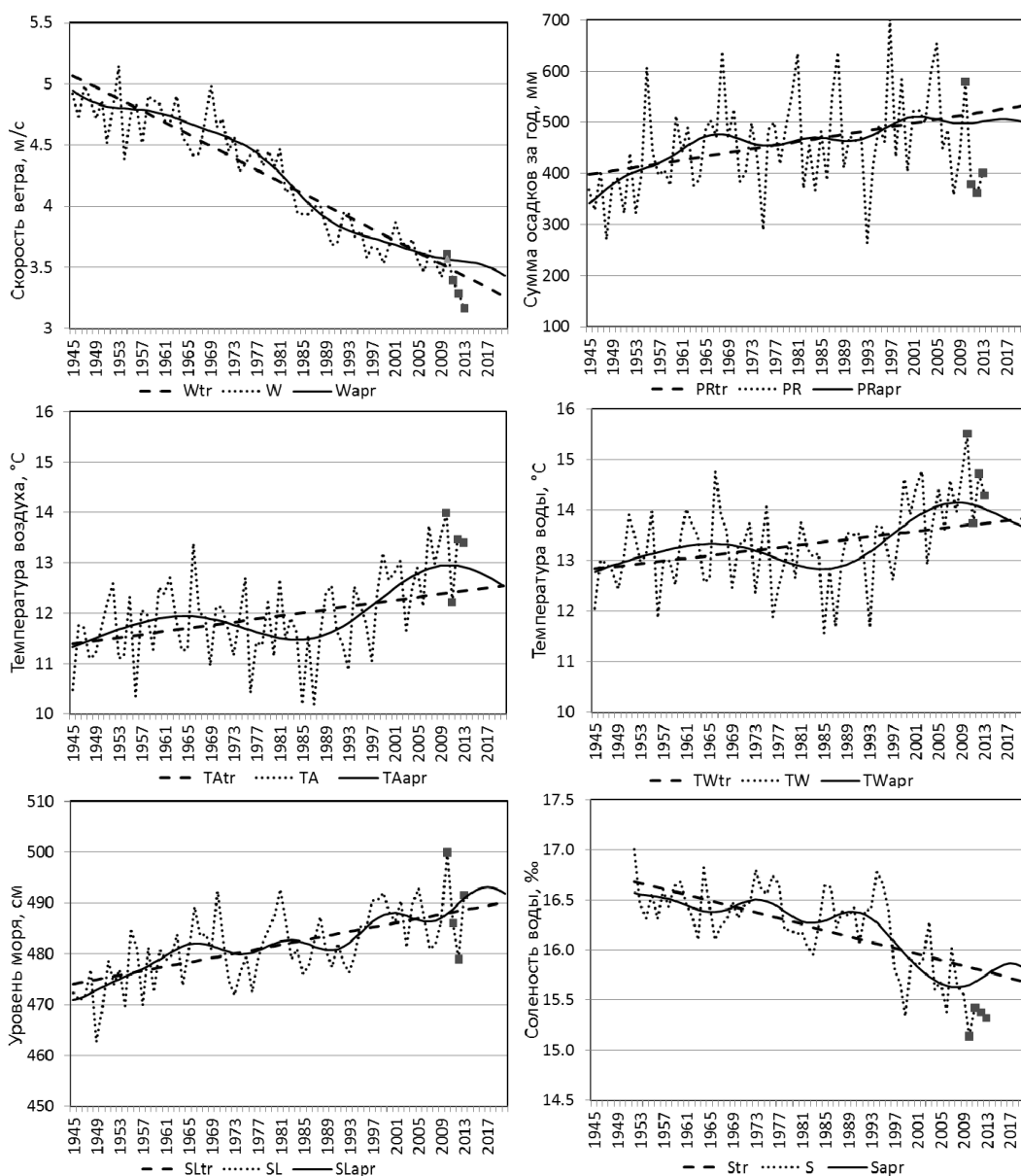


Рис. 2. Изменчивость среднегодовых показателей ГМУ: линейный тренд (штрих), синусоидальная аппроксимация (сплошная) и нефильтрованные значения (пунктир); символы – данные 2010–2013 гг.

Рис. 3 содержит результаты аппроксимации рядов средних пятилетних величин показателей ГМУ, включая прогностические величины для пятилеток с центральными годами 2012, 2017 и 2022.

В соответствии с результатами расчета по формулам (1), (2) можно предположить, что в период 2010-2024 гг. средние пятилетние значения скорости ветра и годовых сумм осадков существенно не изменятся по сравнению с пятилетием 2005-2009 гг. (рис. 3). Термический фон как воздуха, так и морской воды снизится ко второй половине 2010-х годов (2015-2019) более чем на $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в последующее пятилетие увеличится до

значения, прогнозируемого линейным трендом. Уровень моря после некоторой стабилизации в текущем десятилетии далее продолжит свой рост также до значений, экстраполируемых вековым трендом. Аналогичным образом, но с обратным знаком, изменится соленость морской воды – в первой половине следующего десятилетия ее среднепятилетняя величина будет ниже $15,5\text{ }‰$, как видно из рис. 3. Оценить эти прогностические оценки можно будет лишь после накопления соответствующих данных для осреднения по пятилетиям и всем вышеупомянутым морским станциям побережья Украины.

Возвращаясь к рис. 2, следует отметить, что

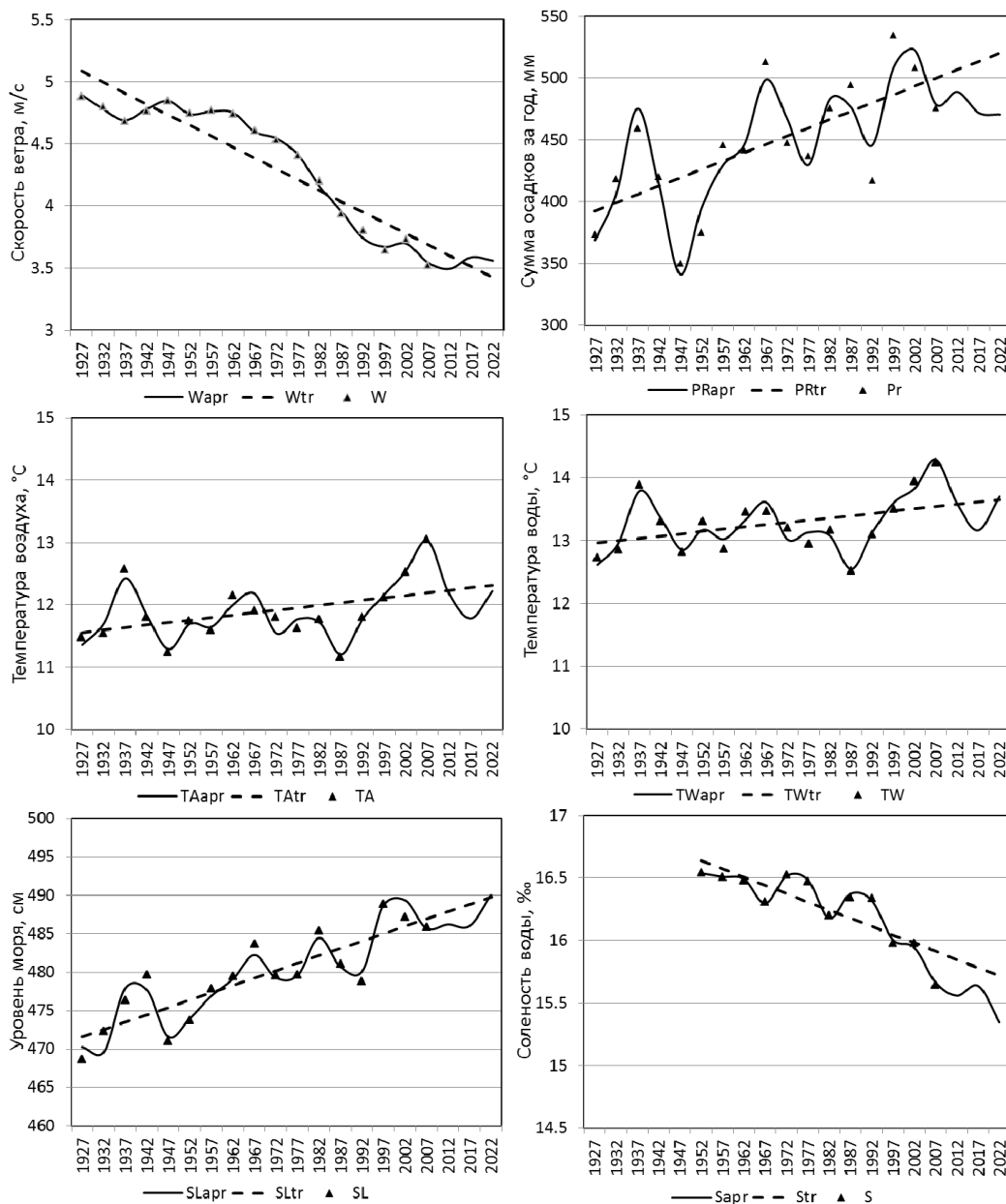


Рис. 3. Изменчивость средних пятилетних показателей ГМУ: линейный тренд (штрих), синусоидальная аппроксимация (сплошная) и среднепятилетние значения (символы)

независимые оценки отклонений среднегодовых значений 2010-2013 гг. от аппроксимирующих кривых для большинства показателей практически не превышают среднеквадратических отклонений (СКО) как исходных рядов, так и их высокочастотных остатков (табл. 5). Иначе говоря, если рассматривать межгодовые флуктуации в совокупности с ошибками аппроксимации длиннопериодных изменений как высокочастотный шум, то его характеристики отражают и вариации независимых оценок 2010-2013 гг. Исключением являются данные для солёности морской воды, которые показывают для этих лет тенденцию, не совпадающую с прогностическими оценками, т.е. величина распреснения прибрежных вод в последние годы существенно превышает оценки, полученные по сумме многолетнего тренда и низкочастотных колебаний. Причины могут быть как естественными, так и связанными с общими для морской сети проблемами качества определения солёности [4, 6].

Таблица 5
Отклонения среднегодовых значений по данным измерений 2010-2013 гг. от прогностических оценок по сумме тренда и низкочастотных гармоник

Показатель	СКО ряда	СКО остат.	Отклонение				Средн. отклон.
			2010	2011	2012	2013	
W	0,489	0,145	0,041	-0,167	-0,269	-0,385	-0,195
PR	93,13	82,87	82,02	-118,97	-138,2	-100,62	-68,94
TA	0,804	0,66	1,038	-0,734	0,525	0,484	0,328
TW	0,764	0,637	1,381	-0,361	0,653	0,266	0,485
SL	6,64	4,63	12,07	-2,73	-10,95	0,61	-0,25
S	0,374	0,226	-0,509	-0,254	-0,333	-0,433	-0,382

Анализ автокорреляционных функций остатков указывает, что для прогноза межгодовых флуктуаций по данным предшествующих лет последний член в формуле (1) может быть представлен в виде процесса авторегрессии 2-го порядка [8], то есть таким образом можно попытаться описать квазидвухлетнюю цикличность [7]. Однако этот вопрос выходит за рамки данной работы.

Выводы

1. Методами спектрального анализа исследована структура многолетней изменчивости рядов средних годовых (1945-2009 гг.) и пятилетних (1925-2009 гг.) значений элементов ГМУ черноморской прибрежной зоны Украины.

2. Установлено, что ряды среднегодовых ве-

личин могут быть аппроксимированы суммой линейного тренда, высокочастотным шумом (совокупностью межгодовых колебаний и ошибок аппроксимации) и несколькими низкочастотными гармониками (2 – для скорости ветра, температур воздуха и воды; 3 – для суммы осадков; 4 – для уровня моря и солёности воды). Аналогичная аппроксимация рядов средних пятилетних значений позволила выделить для большинства элементов 4 значимых низкочастотных гармоник (3 – для уровня моря).

3. Получены количественные оценки относительного вклада различных видов изменчивости в суммарную дисперсию исследуемых рядов. Для среднегодовых показателей: основной вклад в изменчивость скорости ветра вносит линейный тренд, а осадков и температуры – высокочастотные межгодовые флуктуации; доли дисперсии трендов и высокочастотных колебаний у рядов среднегодовых величин уровня и солёности приблизительно одинаковы; у четырех показателей (ветер, осадки, уровень моря, солёность) вклад низкочастотных колебаний наименьший и только у температур воздуха и воды доля дисперсии длиннопериодных компонент превышает долю линейного тренда. Для среднепятилетних величин: вклад высокочастотной компоненты у всех показателей минимален и характеризует практически ошибки аппроксимации; при этом существенно возросла доля дисперсии низкочастотных компонент изменчивости.

4. Известные периоды низкочастотных колебаний глобальных климатических индексов отчетливо проявляются в рядах средних пятилетних величин показателей ГМУ морского побережья, охватывающих больший отрезок времени, чем ряды среднегодовых значений, и свободных от высокочастотного «шума». У всех элементов, кроме уровня моря, выделены периоды, близкие к квази-70-летнему циклу АМО/САК. Кроме того, все ряды пятилетних величин позволяют различить периоды, близкие к 22-летнему циклу солнечной активности.

5. Аппроксимация низкочастотной изменчивости суммой линейного тренда и низкочастотных колебаний позволяет дать прогноз изменений элементов гидрометеорологического режима черноморского побережья Украины на ближайшие десятилетия. Независимые данные за 2010-2013 гг., в основном, подтверждают прогностические оценки тенденций с учетом высокочастотных межгодовых вариаций гидрометеорологических величин.

Данная работа завершает цикл исследований

межгодовой и декадной изменчивости показателей гидрометеорологических условий черноморского побережья Украины, как единого объекта.

* *

1. Ильин Ю.П. Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря // Глобальные и региональные изменения климата. — К.: Ника-Центр, 2011. — С. 247-254.
2. Ильин Ю.П. Вклад региональных и глобальных факторов в межгодовую изменчивость гидрометеорологических условий прибрежной зоны Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. — Вып. 26. — Т. 1. — С. 117-122.
3. Ильин Ю.П. Основные факторы и классы морских гидрометеорологических условий Черноморского побережья Украины на масштабах междесятилетней и межгодовой изменчивости. — Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2013. — Вып. 265. — С. 66-77.
4. Ильин Ю.П. Регрессионные зависимости среднегодовых показателей гидрометеорологических условий Черноморского побережья Украины. — Наук. пр. УкрНДГМІ. — 2014. — Вып. 266. — С. 58-61.
5. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н. Климатические изменения гидрометеорологического режима северного и восточного побережий Чёрного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. — Вып. 25. — С. 157-169.
6. Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н., Дьяков Н.Н., Кубряков А.А., Станичный С.В. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2: Черное море. — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2012. — 421 с.
7. Полонский А.Б. Роль океана в изменениях климата. — К.: Наук. думка 2008. — 183 с.
8. Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. — 2001. — 4(1). — 9 p. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.

Український гідрометеорологічний інститут, Київ

Ю.П. Ільїн

Довгоперіодні коливання показників гідрометеорологічного режиму чорноморського узбережжя України

Виконано спектральний аналіз рядів середніх річних (за 1945–2009 рр.) та п'ятирічних (за 1925–2009 рр.) показників гідрометеорологічного режиму чорноморської прибережної смуги України з метою опису низькочастотних компонент мінливості в присутності лінійних трендів та високочастотного «шуму». Отримані кількісні оцінки відносного внеску в сумарну мінливість усіх її складових (тренд, низькочастотні коливання і міжрічні варіації). Апроксимація рядів сумою тренду і довгоперіодних коливань дозволяє оцінити можливі зміни гідрометеорологічних умов у найближчі десятиріччя. Перевірка отриманих оцінок за допомогою незалежних середньорічних даних за 2010–2013 рр., в основному, підтверджує виявлені тенденції.

Ключові слова: швидкість вітру, температура повітря і води, атмосферні опади, рівень моря, солоність морської води, лінійні тренди, спектральний аналіз.

Y.P. Ilyin

Long-period oscillations of hydro-meteorological regime indices for the Black Sea coast of Ukraine

Spectral analysis for the Ukrainian Black Sea coastal zone hydro-meteorological regime indices time series of annual (for 1945–2009) and pentad (1925–2009) mean values was performed. Its aim was the description of low-frequency variability components with the presence of linear trends and high-frequency “noise”. Quantitative estimates of relative input of all components (trend, low-frequency fluctuations and inter-annual variations) to the total variability were obtained. Approximation of time-series by the sum of trend and long-period fluctuations allows to estimate possible changes of hydro-meteorological conditions during the closest decades. Testing of the obtained estimates by means independent yearly-mean data for 2010–2013 confirms in general the revealed tendencies.

Keywords: wind velocity, air temperature, atmospheric precipitations, sea level, marine water temperature and salinity, linear trends, spectral analysis.