

Ю.П.Ильин

*Морское отделение Украинского научно-исследовательского  
гидрометеорологического института, г.Севастополь*

**ВКЛАД РЕГИОНАЛЬНЫХ И ГЛОБАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ  
В МЕЖГОДОВУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Выполнен факторный анализ рядов среднегодовых и среднепятилетних значений метеорологических и гидрологических параметров по данным измерений на береговых гидрометстанциях. Получены количественные оценки вклада глобальных и региональных факторов в межгодовую и декадную изменчивость показателей гидрометеорологического режима черноморской прибрежной зоны Украины.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *температура воздуха и воды, скорость ветра, атмосферные осадки, уровень моря, соленость, факторный анализ, главные компоненты.*

Изменения гидрометеорологических условий прибрежной зоны моря на временных масштабах от нескольких лет до нескольких десятилетий могут быть описаны на основе временных рядов основных метеорологических и гидрологических показателей, полученных с помощью соответствующего осреднения данных наблюдений морских гидрометстанций (МГ). В [1] показано, что климатические (междесятилетние) изменения параметров климатической системы Черного моря удовлетворительно описываются суперпозицией гармонических функций, полученных с помощью спектрального анализа рядов индексов Атлантической мультидекадной осцилляции и Северо-Атлантического колебания, что доказывает непосредственное воздействие глобальных изменений климата на региональный климат Черного моря. Вместе с тем показано, что характер рядов и низкочастотных колебаний различных показателей режима неодинаков в разных регионах прибрежной зоны Украины, например, в северо-западной части Черного моря (СЗЧМ) и на южном берегу Крыма, что обусловлено региональными и локальными факторами. Региональные различия в характеристиках многолетней изменчивости выявлены также традиционными методами анализа рядов метеорологических и гидрологических элементов гидрометрежима, полученных на основе данных наблюдений на береговых станциях и постах бывшего СССР [2]. В связи с этим в данной работе поставлена задача количественного определения вклада глобального и регионального факторов в межгодовую и междесятилетнюю изменчивость гидрометеорологических условий прибрежной зоны Черного моря.

**Материалы и методы исследования.** Наиболее полные ряды наблюдений получены для МГ Украины, расположенных вдоль берегов СЗЧМ и Крыма: Приморское, Одесса, Хорлы, Евпатория, Севастополь, Херсонесский маяк, Ялта и Феодосия [2]. Поэтому дальнейший анализ и его выводы относятся к прибрежной зоне Украины, являющейся самой протяженной среди прибрежных зон стран черноморского региона. Построены временные ряды

среднегодовых значений скорости ветра, температуры воздуха и воды, атмосферных осадков, уровня моря и солёности за период 1945 – 2009 гг. (для солёности – за 1952 – 2009 гг.). Кроме того, для анализа декадной изменчивости построены ряды 5-ти летних средних за период 1925 – 2009 гг., 17 значений (для солёности – за 1950 – 2009 гг., 12 значений). Следует отметить, что не на всех станциях получены одинаковые ряды всех перечисленных показателей из-за недостаточной длительности наблюдений над некоторыми параметрами на одних станциях, и низкой репрезентативности отдельных параметров на других. Например, уровень моря не анализировался для Одессы и Приморского, поскольку в Одессе обнаружены значительные тренды уровня тектонического характера, а в Приморском наблюдения ведутся лишь с 1951 г., что делает эти данные нерепрезентативными для исследования климатической изменчивости в масштабах региона. Далее, при описании результатов по каждому параметру будут указаны МГ, данные которых легли в основу анализа.

Для количественного описания скрытых (не измеряемых непосредственно) факторов, влияющих на межгодовую и декадную изменчивость каждого из параметров, использован алгоритм факторного анализа посредством выделения главных компонент корреляционной матрицы, реализованный в пакете статистического анализа *PAST* [3] (последняя версия программы – <http://folk.uio.no/ohammer/past>). На основе измеренных величин гидрометеорологического параметра получается набор новых переменных – скрытых (не измеряемых непосредственно) факторов, ранжированных по их вкладу в суммарную дисперсию изменчивости исходной переменной. Анализ факторных нагрузок позволяет интерпретировать выделенные факторы как внешние по отношению к рассматриваемому региону («глобальные»), т.е. определяющие однонаправленные изменения параметра во всех пунктах измерений, и внутренние («региональные»), характеризующие изменения разного знака в различных регионах рассматриваемой области побережья.

**Результаты и обсуждение.** Полный набор иллюстраций результатов анализа рядов средних годовых и 5-ти летних значений вышеперечисленных показателей гидрометрежима приведен на Интернет-сайте Черноморской комиссии [4].

В качестве примера на рис.1 представлены результаты факторного анализа среднегодовых значений скорости ветра  $W$ , м/с, на МГ Одесса (Ods), Евпатория (Evp), Севастополь (Stp), Херсонесский маяк (Khs), Ялта (Ylt) и Феодосия (Fds). Величины собственных значений корреляционной матрицы ветра в различных пунктах побережья (рис.1, а) дают информацию о вкладе новых переменных (факторов) в суммарную дисперсию межгодовой изменчивости исходных переменных, т.е. значений скорости ветра в различных пунктах побережья. В данном случае первые две моды определяют в сумме более 80 % изменчивости, причем первая из них описывает почти 65 %. При этом факторные нагрузки (величины, пропорциональные коэффициентам корреляции между исходными переменными и факторами) для первой моды имеют одинаковую направленность (знак) и близки по абсолютным значениям (рис.1, б). Эта первая мода интерпретируется как глобальный фактор изменчивости скорости ветра, т.е. изменения от года к году происходят в боль-

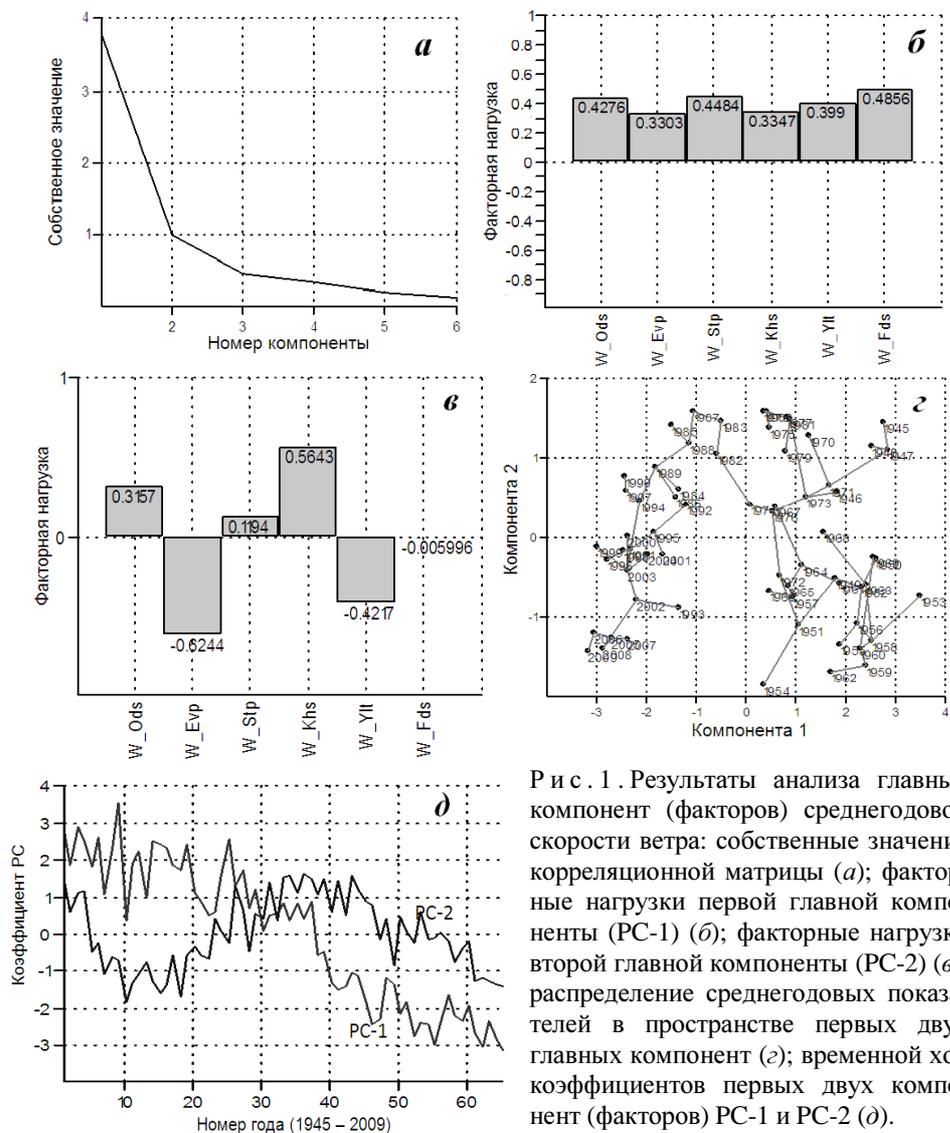


Рис. 1. Результаты анализа главных компонент (факторов) среднегодовой скорости ветра: собственные значения корреляционной матрицы (а); факторные нагрузки первой главной компоненты (PC-1) (б); факторные нагрузки второй главной компоненты (PC-2) (в); распределение среднегодовых показателей в пространстве первых двух главных компонент (г); временной ход коэффициентов первых двух компонент (факторов) PC-1 и PC-2 (д).

шой степени одинаково во всех анализируемых пунктах черноморского побережья Украины под влиянием внешних причин – характера циклонической деятельности на более крупных пространственных масштабах. Вторая мода описывает около 17 % изменчивости скорости ветра и характеризуется разнонаправленными факторными нагрузками (рис.1, в). Для района Одессы и мыса Херсонес факторные нагрузки положительны, в то время как для района Евпатории и Ялты они отрицательны, а для Севастополя и Феодосии – незначительны по абсолютной величине. Это означает, что на фоне общих для всего региона однонаправленных межгодовых колебаний скорости ветра в отдельных пунктах существуют разнонаправленные региональные изменения, определяемые орографическими условиями и мезомасштабными метеорологическими процессами. Остальные факторы, дающие пренебрежимый вклад в общую изменчивость, объясняются локальными воздейст-

виями в пунктах наблюдений и шумовыми компонентами временных рядов.

Распределение среднегодовых значений скорости ветра в пространстве первых двух факторов позволяет сравнить их по степени проявления и соотношения в отдельные годы и определить близкие или существенно различающиеся по ветровым условиям годы (рис.1, *з*). Наконец, межгодовые вариации глобального и регионального факторов (рис.1, *д*) иллюстрируют интенсивность их влияния от года к году и могут быть подвергнуты дальнейшему анализу как временные ряды обобщенных показателей для всего рассматриваемого района, а не отдельных пунктов наблюдений.

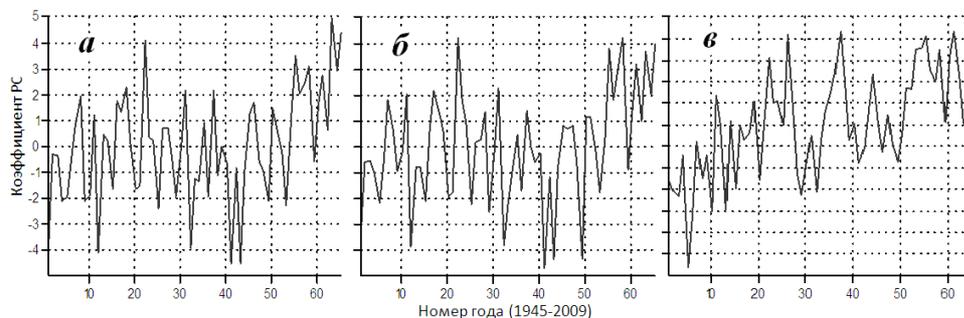
Среднегодовые значения температуры воздуха и воды подвергнуты факторному анализу по данным МГ Одесса, Евпатория, Севастополь, Ялта и Феодосия. Межгодовая изменчивость этих показателей определяется преимущественно глобальным фактором, описывающим более 92 % общей дисперсии. Этот факт не вызывает удивления, поскольку пространственные масштабы межгодовых колебаний температуры воздуха явно превышают размеры рассматриваемого региона, а температура поверхности моря у берега в среднем за год успевает приспособиться к термическому фону атмосферы.

Уровень моря по данным станций Хорлы, Черноморское, Евпатория, Севастополь, Ялта и Феодосия также изменяется синхронно от года к году, т.е. может быть описан единственной (глобальной) модой, описывающей более 95 % суммарной дисперсии.

Уровень моря систематически повышался в послевоенный период, однако на фоне этого повышения отмечались периоды резких понижений уровня в середине 70-х, 80-х и начале 90-х гг., связанных с пониженным притоком пресной воды в море.

Для годовых сумм атмосферных осадков по данным МГ Одесса, Севастополь, Херсонесский маяк, Ялта и Феодосия характерны общие (глобальные) межгодовые изменения, вклад которых составляет около 64 %. Помимо этого, значимый вклад в межгодовую изменчивость вносит региональный фактор (более 15 %), выражающийся в разнонаправленных факторных нагрузках Одессы и юго-западного Крыма (Севастополь и мыс Херсонес).

Временной ход первых мод изменчивости температуры воздуха, воды и уровня моря представлен на рис.2, из которого видно, что термические условия воздуха и морской воды в прибрежной зоне Украины характеризова-



Р и с . 2 . Временной ход показателей глобальных факторов межгодовой изменчивости температуры воздуха (*а*), воды (*б*) и уровня моря (*в*) по данным береговых станций украинского побережья Черного моря за 1945 – 2009 гг.

лись общим похолоданием 80-х гг., после которого наблюдался общий рост температуры. На фоне этих долгопериодных изменений отмечаются межгодовые колебания с периодами от 2 до 7 лет.

Наименьший вклад глобального фактора (около 45 %) обнаружен в межгодовой изменчивости солености морской воды по данным МГ Приморское, Одесса, Херсонесский маяк, Ялта и Феодосия. В этом случае региональные факторы описываются двумя модами (РС-2 и РС-3), вклад которых составляет около 21 и 17 % соответственно (в сумме 38 %). Вторая мода описывает разнонаправленные изменения солености в придунайском районе (максимальная положительная факторная нагрузка) и у берегов Одессы и Феодосии (отрицательные нагрузки), причем вклад этой моды в изменчивость солености у м.Херсонес и в Ялте незначим. Третья мода описывает более четкие региональные различия, связанные с воздействием речного стока: в СЗЧМ (Приморское, Одесса) факторные нагрузки отрицательные, а у юго-западного (м.Херсонес), южного (Ялта) и юго-восточного (Феодосия) побережий Крыма – положительные. При этом глобальный фактор влияет на общее систематическое понижение солености воды в период 1952 – 2009 гг.

Факторный анализ рядов 5-ти летних средних значений гидрометеорологических показателей в целом подтверждает выводы анализа среднегодовых величин: температура воздуха и воды, а также уровень моря на масштабах декадной изменчивости изменяются под воздействием внешних (глобальных) факторов, а в изменения скорости ветра, осадков и солености от пятилетки к пятилетке вносят вклад и региональные факторы. При этом несколько изменяется соотношение вкладов глобальных и региональных факторов (табл.1). За счет сглаживания высокочастотных межгодовых вариаций при осреднении по пятилетиям снижается вклад локальных и шумовых компонент изменчивости временных рядов и соответственно увеличивается вклад глобальных факторов в изменчивость показателей, за исключением температуры воздуха и воды. Кроме того, временные ряды выделенных факторов позволяют описать более длительный отрезок времени – от 1925 до 2009 гг. (для солености этот интервал не увеличивается) и более гладкие долгопериодные вариации (рис.3).

**Выводы.** Выполнен факторный анализ рядов среднегодовых и среднепятилетних значений показателей гидрометрежима черноморской прибреж-

Т а б л и ц а 1. Вклад (%) в общую изменчивость гидрометеорологических параметров глобального и регионального факторов.

переменная	среднегодовые		5-ти летние средние	
	глобальный	региональный	глобальный	региональный
скорость ветра	65	17	70	17
температура воздуха	92	–	92	–
температура воды	92	–	91	–
осадки	64	15	67	14
уровень моря	95	–	98	–
соленость	45	38	56	33

ной зоны Украины. Анализ проводился посредством выделения главных компонент корреляционных матриц по каждому из показателей.

Выявлены и проанализированы основные скрытые (неизмеряемые) факторы, каждый из которых линейно связан с исходными данными во всех пунктах измерений. Эти факторы интерпретированы как глобальный и региональный факторы, определяющие межгодовую и декадную изменчивость гидрометеорологических условий в рассматриваемом регионе.

Установлено, что на масштабах межгодовой и декадной изменчивости температура воздуха и воды, а также уровень Черного моря в прибрежной зоне Украины подвержены влиянию главным образом внешних (глобальных) факторов, связанных с крупномасштабными метеорологическими процессами.

Показано, что на вариации скорости ветра, осадков и солености морской воды у черноморских берегов Украины, в дополнение к глобальным факторам, воздействуют и региональные компоненты, определяемые различиями в орографии берегов, стоке рек и характером мезомасштабных гидрометеорологических процессов в различных частях побережья.

Получены количественные оценки вклада глобальных и региональных факторов в межгодовую и декадную изменчивость показателей гидрометеорологического режима черноморской прибрежной зоны Украины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильин Ю.П.* Климатические изменения гидрометеорологических условий Черного моря // Глобальные и региональные изменения климата.– Киев: Ника-Центр, 2011.– С.247-254.
2. *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.
3. *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](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
4. *Ilyin Yu.* Global and Regional Factors of Inter-Annual and Inter-Decadal Variability of Hydrometeorological conditions on the Black Sea Ukrainian Shores. <http://81.8.63.74/Downloads/3BSCConf/Presentations/>

Материал поступил в редакцию 16.10.2012 г.

**АНОТАЦІЯ.** Виконано факторний аналіз рядів середньорічних і середньоп'ятирічних значень метеорологічних і гідрологічних величин за даними вимірювань на берегових гідрометстанціях. Отримані кількісні оцінки внеску глобальних і регіональних факторів у міжрічну та декадну мінливість показників гідрометеорологічного режиму чорноморської прибережної смуги України.

**ABSTRACT.** Factor analysis of the time-series of annual and five-year averaged meteorological and hydrological values measured on shore hydrometeorological stations was performed. Quantitative estimations were obtained for the global and regional factors input to the interannual and decadal variability of the Ukrainian Black Sea coastal zone hydrometeorological regimen indices.