

Ю.П.Ильин, Л.Н.Репетин

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

### **КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА СЕВЕРНОГО И ВОСТОЧНОГО ПОБЕРЕЖИЙ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Представлены результаты анализа рядов многолетних (до 100 – 135 лет) гидрометеорологических наблюдений у берегов северо-западной части Черного моря, Крыма и Кавказа. Для оценки реакции региональных гидрометеорологических условий прибрежной зоны Черного моря на изменения климата исследованы вариации температуры воздуха и воды, ветра и волнения, атмосферного давления, составляющих бюджета пресных вод и уровня моря. Межгодовая изменчивость перечисленных параметров оценивалась на основе рядов среднемесячных и среднегодовых значений перечисленных показателей (80, 100 и более лет), а также годовых величин повторяемости ветра и волнения. Получены оценки линейных трендов и низкочастотных колебаний в сопоставлении с изменениями индексов САК и АМО.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *прибрежная зона, температура воздуха и воды, атмосферное давление, ветер, атмосферные осадки, речной сток, испарение, уровень моря, сезонная и межгодовая изменчивость, глобальные и региональные изменения климата.*

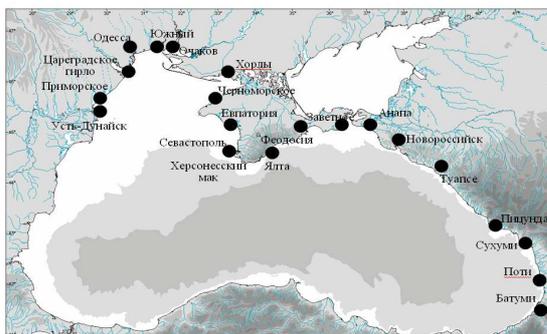
Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ, г.Севастополь) на протяжении длительного периода проводит исследования состояния и изменений параметров гидрометеорологического режима прибрежной зоны украинского и кавказского побережий Черного моря. При этом используются данные наблюдений морской сети Гидрометслужбы бывшего СССР, а за последние десятилетия – Гидрометслужбы Украины. Продолжительность этих долгосрочных и систематических наблюдений на ряде станций достигает 100 – 135 лет. С учетом потребностей практики морского гидрометобеспечения и мониторинга экологического состояния морской среды, в данной работе выполнено обобщение материалов наблюдений, включающих последние 20 лет периода интенсивного глобального потепления, которые оказались аномальными по отношению к вековым рядам. При этом 2010 год оказался самым теплым и многоводным (максимальный уровень моря) за весь период береговых наблюдений на Черном море.

Информация о гидрометеорологическом режиме (ГМР) в прибрежной зоне Черного моря за прошлые годы помещена в ряде справочников, ежегодников и атласов в виде ежедекадных, месячных и годовых значений. Эта информация обобщена в монографии [1], где наиболее полно представлены статистические оценки параметров ГМР, их межгодовой изменчивости за период до 1985 г. Поскольку последние десятилетия проходили в условиях глобального потепления климата, актуальность исследования изменений режима морских регионов значительно возросла.

Оценки климатических, межгодовых и сезонных изменений параметров

гидрометеорологического режима вдоль рассматриваемых побережий приведены в ряде работ [2 – 4, 6, 7]. В данной статье представлены статистические характеристики и оценки климатических изменений температуры воздуха и воды, ветра и волнения, атмосферного давления и уровня, речного стока и осадков на обширном пространстве вдоль украинского и кавказского побережий Черного моря.

**Материалы и методы обработки.** В качестве информационной основы использованы данные регулярных натуральных гидрометеорологических наблюдений в прибрежной зоне Черного моря, которые проводились на морской сети станций Гидрометслужбы СССР, (в настоящее время – Украины,



Р и с . 1 . Расположение морских гидрометеорологических станций.

России и Грузии). Это данные 20 береговых станций (рис.1) от устья Дуная до юга Кавказа, продолжительностью наблюдений от 25 до 135 лет, представляющие все характерные в климатическом и ландшафтном отношении районы побережья Черного моря. При климатических оценках расчеты и сравнения трендов проводились только по синхронным рядам наблюдений.

Для анализа каждого параметра выбирались ряды наиболее продолжительных регулярных измерений. Особое внимание уделялось сравнению угловых коэффициентов линейных трендов и оценке их статистической значимости.

**Температура воздуха и воды.** Климатические изменения температурного режима оценивались по рядам среднегодовых и среднемесячных величин температуры воздуха и воды на 9 береговых станциях Украины (Одесса, Очаков, Хорлы, Черноморское, Евпатория, Севастополь, Херсонесский маяк, Ялта и Феодосия), на 3-х станциях России (Анапа, Новороссийск, Туапсе) и 3 станциях Грузии (Сухуми, Поти, Батуми). По станциям России мы располагаем рядами среднемесячной температуры воды только до 2006 г., а по станциям Грузии – до 1995 г. В результате расчетов оказалось, что тренды всех рядов температуры воздуха и воды северного побережья положительны, т.е. отмечается общий рост температуры с максимумом в 2010 г. За 125 лет (1885 – 2010 гг.) годовые величины температуры воздуха увеличились от 0,3 (Ялта) до 1,4 °С (Одесса), а температуры воды за последние 90 – 100 лет увеличились на 0,8 – 1,2 °С. Сравнение долгопериодных изменений температуры воздуха черноморского побережья (на примере самого длинного ряда Ялты) с индексами АМО, представляющего изменения температуры воды на поверхности в Северной части Атлантического океана показало, что 130 – летние ряды температуры воздуха и АМО имеют близкие положительные, статистически значимые линейные тренды (рис.2). Полиномиальная аппроксимация указывает на наличие одинаковых по фазе колебаний с периодом 70 – 80 лет. Как показано в работе [2], межгодовые колебания приземной температуры воздуха происходят в противофазе с изменениями го-

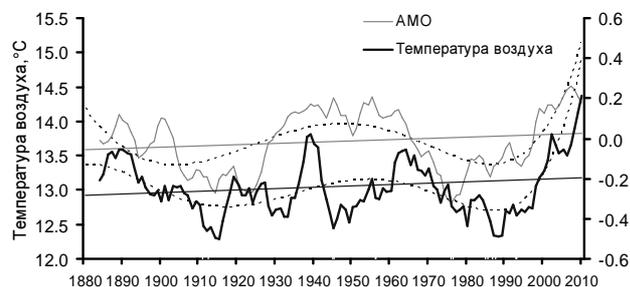


Рис. 2. Межгодовая изменчивость температуры воздуха (Ялта) и АМО (5-летнее скользящее осреднение). Прямые – линейные тренды, пунктир – полином 5 степени.

довых значений индекса САК также на масштабах 70 – 80 лет. Для оценки тенденции сезонных (внутригодовых) изменений температуры воздуха были рассчитаны линейные тренды для каждого месяца года по каждой из станций с наиболее длинными рядами, превышающими 100 лет. Несмотря на то, что

станции расположены в различных условиях рельефа побережья, на разных широтах и на достаточно большом расстоянии друг от друга по долготе, выделяется неожиданная, общая для всех регионов тенденция квазипериодических, в основном синфазных колебаний разных по величине и знаку трендов. Годовой ход средних по побережью месячных коэффициентов линейных трендов представлен на рис.3. Максимальные значения трендов температуры воздуха наступают в январе – феврале и апреле, а октябрь выделяется общим минимумом для всех районов северного и восточного побережий. Отсюда следует, что на вековых масштабах в середине осеннего сезона на всем рассматриваемом побережье Черного моря температура воздуха понижается. Чтобы выяснить, соответствует ли сезонный ход трендов температуры воздуха изменчивости индексов Северо-Атлантического колебания и солнечной активности, были выполнены аналогичные расчеты месячных трендов индекса САК и чисел Вольфа за период с 1880 по 2010 гг. (рис.3). Графики сезонного хода трендов САК и чисел Вольфа практически повторяют в противофазе сезонное распределение коэффициентов трендов температуры воздуха. Наиболее интересной, не описанной ранее особенностью внутригодового распределения вековых трендов температуры воздуха, является значимый отрицательный пик в октябре, совпадающий со значимым положительным трендом САК и одним из локальных максимумов на кривой трендов чисел Вольфа. Эти результаты подтверждают важное влияние на Черноморский регион макроциркуляционных процессов над Атлантикой, связанных с вековыми ритмами солнечной активности. Подробнее см. в [2].

Связь температур воды и воздуха (по крайней мере, в прибрежной зоне) подтверждается достаточно высокими коэффи-

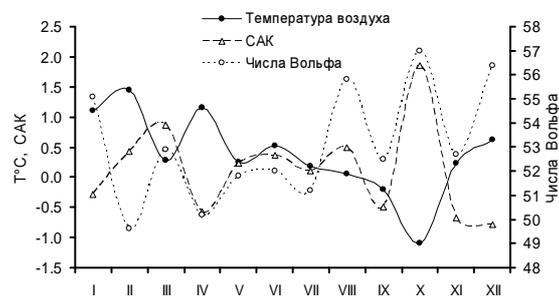


Рис. 3. Сезонный ход осредненных по региону коэффициентов вековых линейных трендов температуры воздуха (а), индекса Северо-Атлантического колебания (б) и чисел Вольфа (в). 1880 – 2010 гг.

циентами корреляции ( $r$ ) годовых величин температуры воды и воздуха (средний по побережью  $r = 0,84$ ), а также подобием (в большей части случаев) трендов, вычисленных за синхронные периоды. Это означает, что в климатических изменениях температуры воды в прибрежной зоне Черного моря основной вклад принадлежит температуре воздуха. Повышение температуры воды у берегов осуществлялось, в основном, за счет зимних сезонов. За последние 85 лет температура гидрологических зим (среднее за январь, февраль и март) повысилась на  $0,9 - 1,6$  °C. У самого длинного 110-летнего ряда Ялты (1900 – 2010 гг.), положительный тренд ( $0,088$  °C/10 лет) оказался значимым на уровне 99 %. За весь период наблюдений общий рост температуры воды у берега Ялты составил  $0,96$  °C. Совмещенные графики межгодовых колебаний температуры воды у северного побережья представ-

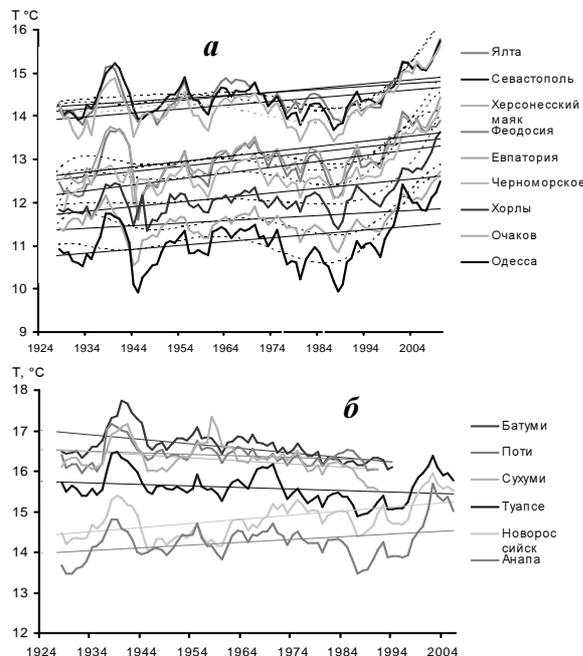


Рис. 4. Межгодовые изменения температуры воды (скользящее 5-летнее осреднение) у северного побережья Черного моря (1924 – 2010 гг.) (а) и у Кавказского побережья (1924 – 2006 гг.) (б).

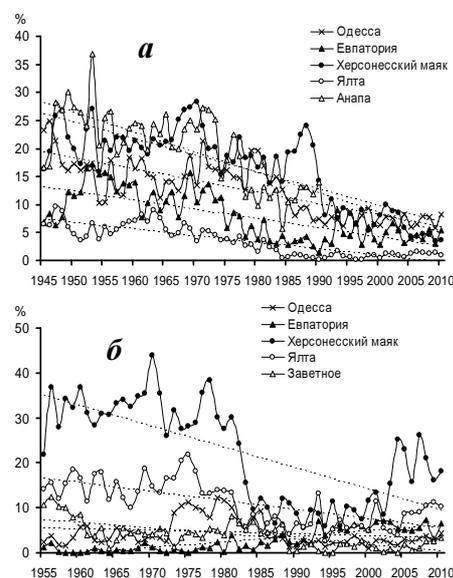
лены на рис.4, а. У кавказского побережья на всех южных станциях (Туапсе, Сухуми, Поти и Батуми) тренды годовых значений температуры воды отрицательны (рис.4, б). За исключением района Поти тренды значимы на уровне 93 – 99 %. За 67 – 70 лет общее понижение температуры здесь составило от  $0,3$  (Поти) до  $0,8$  °C (Батуми). При продлении рядов до начала XXI в. величины угловых коэффициентов отрицательных трендов, вероятно, изменятся, однако, пример Туапсе свидетельствует о том, что, несмотря на интенсивное потепление в конце XX – начале XXI вв., тренды могут остаться отрицательными и значимыми. Коэффициент линейного тренда ряда Туапсе (1923 – 2006 гг.) составил  $-0,09$  °C/10 лет и значим

на уровне более 95 %. Наиболее интенсивное охлаждение воды у юго-восточного побережья моря отмечено в летне-осенний сезон, когда общее понижение температуры происходило в пределах от  $-0,2$  (Сухуми) до  $-1,2$  °C (Новороссийск). В зимний сезон только в районе Батуми значимый отрицательный тренд привел к понижению температуры воды на  $0,6$  °C, а общее снижение годовых значений температуры воды за рассматриваемые 70 лет здесь составило  $0,77$  °C. Таким образом, климатические изменения температурного режима у восточного побережья Черного моря существенно отличаются от остальных прибрежных регионов. Установленным фактом является стабильная тенденция увеличения количества осадков, выпадаю-

щих на поверхность и берега Черного моря, в особенности в юго-восточном регионе [3]. На юге кавказского побережья, выделяющегося как годовыми, так и месячными отрицательными трендами температуры воды, количество осадков максимальное по отношению к другим регионам Черного моря. Среднегодовое количество осадков в районе Поти – Батуми (2000 – 2700 мм) в 4 – 5 раз превышает нормы других регионов моря. Таким образом, в восточной и юго-восточной частях Черного моря обильные атмосферные осадки могут быть основной причиной многолетнего понижения температуры воды в прибрежной зоне.

**Ветер и волнение моря.** Результаты анализа временных изменений параметров ветро-волнового режима за периоды от 50 до 100 лет убедительно подтверждают факт повсеместного уменьшения скорости ветра во второй половине XX в. Тренды межгодовых изменений средней скорости ветра по данным всех рассматриваемых станций побережья оказались отрицательными и значимыми на уровне, превышающем 95 % [4]. Уменьшение среднегодовой скорости ветра за 95-летний период (1915 – 2010 гг.) составило на разных участках побережья от – 0,6 (Ялта) до – 2,3 м/с (Очаков, Хорлы), т.е. на ряде станций уменьшение годовых величин скорости ветра превышало 50 % нормы. Факт реального понижения скорости ветра подтверждается аналогичной тенденцией ветрового волнения. На рис.5 представлены межгодовые изменения повторяемости сильных ветров (не менее 10 м/с, рис.5, а) и штормового волнения (более 125 см, рис.5, б) рассчитанных по данным измерений на береговых станциях. Доля ветров со скоростью не менее 10 м/с в отдельные годы изменяется от 5 до 25 % суммарной повторяемости всех случаев наблюдений над ветром. Важной особенностью межгодовых изменений в период 60 – 70-х гг. XX в. на большей части станций является усиление повторяемости штормовых ветров, которые приводили к значительным материальным ущербам и даже к человеческим жертвам. Это связано с активизацией в этот период циклонических процессов, которые всегда сопровождаются усилением ветра, выпадением атмосферных осадков и понижением температуры воздуха. В последнее 20-летие также наблюдались жестокие штормы с ураганными скоростями ветра, повторяемость которых невелика, но разрушительная сила максимальна.

Анализ межгодовой изменчивости повторяемости ветра по основным направлениям показал наличие значимых положительных трендов ветров



Р и с . 5 . Межгодовые изменения повторяемости (%) сильных ветров  $\geq 10$  м/с (а) и штормового волнения  $\geq 125$  см (б) по данным береговых наблюдений. Пунктиром показаны линейные тренды.

западного и восточного направлений, что совпадает с тенденцией роста в рассматриваемый временной период повторяемости макроциркуляционных процессов западно-восточной формы циркуляции атмосферы, отнесенных в классификации Вангенгейма – Гирса к типу *W* [8]. Значимые отрицательные тренды имеют ряды повторяемости северо-восточных и северо-западных ветров, которые могут быть следствием ослабления меридиональной циркуляции типов *E* и *C*. Отрицательные тренды меридиональных типов атмосферной циркуляции свидетельствуют об ослаблении адвекции из северных широт, что, возможно, и приводит к повышению температурного фона на Европейском континенте и в Черноморском регионе. Активизация западного переноса (особенно в холодный период года) теплых атлантических и средиземноморских воздушных масс, которая подтверждается положительными трендами повторяемости западных ветров и западного типа (*W*) атмосферной циркуляции, также может способствовать общему повышению температуры. Таким образом, можно предположить, что одним из механизмов наблюдающегося потепления являются изменения макроциркуляционных атмосферных процессов, связанных с ослаблением меридионального и усилением зонального переносов воздушных масс.

**Уровень моря и атмосферное давление.** Подробный анализ межгодовых изменений уровня Черного моря до 2005 г. приведен в [5], однако максимальный за весь период наблюдений подъем уровня в 2010 г. увеличил тенденцию его роста в период интенсивного глобального потепления (последние 25 лет) и повлиял на величину общего тренда уровня. Самые продолжительные, регулярные наблюдения над уровнем Черного моря производились на станции Севастополь (1875 – 2010 гг.), расположенной на юге Крыма, т.е. в срединной части моря. Полиномиальная аппроксимация аномалий среднегодовых значений уровня в Севастополе показывает, что с начала наблюдений до 20-х гг. XX в. наблюдалась относительная стабильность уровня (рис.6, *a*). Начиная с 30-х гг., отчетливо проявляется тенденция увеличения уровня, которая продолжается и в первом десятилетии

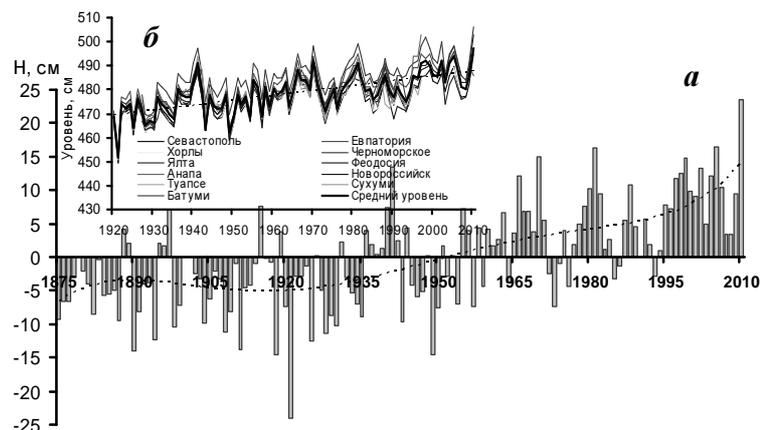
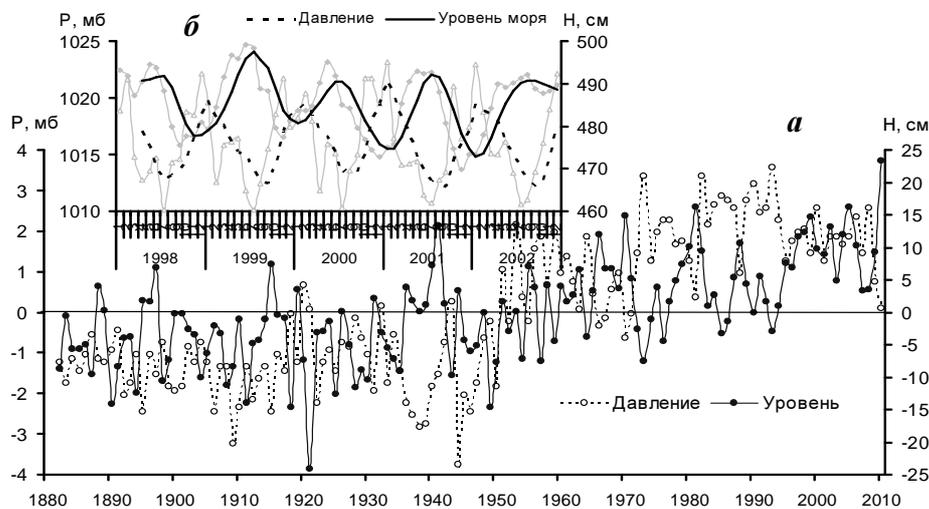


Рис. 6. Аномалии колебаний годовых величин уровня Черного моря, измеренного в Севастополе (1875 – 2010 гг.) (*a*) и на 11 станциях северного и восточного побережий Черного моря (1920 – 2010 гг.) (*б*).

XXI в. Как следует из рис.6, б, на котором совмещены данные измерений 11 станций северо-западной части моря, Крыма и Кавказа, годовые колебания уровня в разных районах северного и восточного побережий носят синхронный характер. Их коэффициенты корреляции близки к единице [5], поэтому особенности изменений уровня наиболее надежного 135-летнего ряда Севастополя характерны для всего моря. За весь период наблюдений в Севастополе, величина положительного линейного тренда уровня составила 1,3 мм/год, за последние 100 лет 1,7 мм/год, за последние 25 лет 5 мм/год, а общий подъем уровня с учетом 2010 г. составил 17 см. Тренд среднего уровня моря, вычисленный по более коротким синхронным рядам станций северного и восточного побережий (рис.6, б) увеличился до 2 мм/год, что составляет 18,5 см за расчетные 90 лет. Большинство исследователей связывают положительный тренд в изменениях уровня Черного моря с общим повышением уровня Мирового океана, а короткопериодные флуктуации с изменениями водного баланса, т.е. с соотношением составляющих пресного баланса (речной сток, осадки и испарение) и водообмена через проливы Босфор и Керченский.

Несмотря на прямую зависимость уровня от воднобалансовых факторов, на его короткопериодные, месячные и годовые колебания существенное влияние оказывает атмосферное давление как интегральный индикатор атмосферных процессов. На масштабах нескольких суток колебания атмосферного давления и уровня происходят в противофазе и при изменении давления на 1 мб уровень изменяется примерно на 1 см, т.е. близки к эффекту «обратного барометра». При этом в зонах центров циклонов с приземным давлением менее 1000 мб при ветрах ураганной силы возникают аномальные подъемы уровня моря (с амплитудой до 1,5 м), которые, распространяясь в виде длинных волн, усугубляют разрушительное воздействие штормового волнения. Тенденции долгопериодных изменений атмосферного давления в разных районах моря неодинаковы. Если в центральной части моря (Севастополь, Ялта, Новороссийск) очевидно увеличение давления (положительный тренд 4 – 5 мб/100 лет), то на северо-западе (Одесса) и востоке (Туапсе) тренды давления отрицательны (от – 5 до – 8 мб/100 лет). В юго-восточной части (Поти, Батуми) тренды давления статистически незначимы. Тем не менее, на северном и восточном побережьях на сезонных и межгодовых масштабах изменения уровня происходят также в противофазе колебаниям атмосферного давления (рис.7). Как показал спектральный анализ, противофазные колебания годовых величин (рис.7, а) происходит с частотой, порядка 4 лет. Представленный на рис.7, б фрагмент синхронных рядов месячных величин уровня и давления, сглаженных 3-месячным скользящим осреднением, иллюстрирует сезонные противофазные колебания, которые происходят с полугодовым периодом.

Бюджет пресных вод (БПВ) и водообмен через проливы имеют решающее значение в колебаниях уровня Черного моря, однако атмосферное давление оказывает влияние на амплитуду и фазу сезонных изменений уровня. При совмещении графиков годового хода средних многолетних величин уровня моря и давления, вычисленных за весь период воднобалансовых исследований Черного моря с 1923 по 2010 гг., оказалось, что изменения давле-



Р и с . 7. Аномалии колебаний годовых величин атмосферного давления и уровня Черного моря (а) и месячные значения уровня и давления (б), сглаженные 3-месячным осреднением, по измерениям в Севастополе.

ния и уровня происходят в противофазе со смещением экстремумов на месяц. На графиках годового хода аномалий (отклонений от среднего) средне-многoletних месячных величин БПВ, среднего уровня и атмосферного давления, вычисленных за синхронные периоды (рис.8), сезонный максимум



Р и с . 8. Совмещенные графики аномалий пресного баланса Черного моря, среднего уровня и атмосферного давления. 1923 – 2010 гг.

уровня (июнь) расположен между максимумом БПВ (апрель – май) и минимумом давления, который наступает в июле. Это может означать, что наступление максимума уровня примерно на месяц позже, чем максимум речного стока и БПВ может быть вызвано не только временем добегания паводковых вод, а следствием реакции среднего уровня Черного моря на сезонный минимум атмосферного давления под влиянием эффекта "обратного барометра". Как показано в [5], в июле вклад давления в повышение среднего уровня имеет наибольшую величину (до 4 см).

**Баланс пресных вод.** Данные многолетних гидрометеорологических наблюдений на северном и восточном побережьях на протяжении 87 лет используются для расчета составляющих водного баланса Черного моря по методике, подробно изложенной в [1, б]. Для оценки характера межгодовой изменчивости составляющих БПВ, расчеты линейных трендов речного стока, осадков и испарения с поверхности моря производились по рядам, включающим последние годы, в том числе аномальный 2010 г. Его особенностью является сочетание максимальных за весь период береговых наблю-

дений температур воздуха и воды с необычным, наибольшим за 135 лет, подъемом уровня моря. Основной причиной повышенного объема вод моря в 2010 г. является рекордное количество снега (до 1,5 м), выпавшего на территорию Центральной Европы (бассейн р. Дунай) зимой 2009 – 2010 гг. (<http://www.meteoinfo.ru>). Таяние этого снежного покрова и сильные, продолжительные дожди зимой, весной и летом 2010 г. привели к катастрофическим наводнениям и рекордному (третьему после 1941 и 1970 гг.) увеличению годового стока Дуная – 466 км<sup>3</sup>. Непосредственно на акваторию Черного моря также выпало максимальное количество осадков – более 380 км<sup>3</sup> при сравнительно низком испарении с поверхности моря (292 км<sup>3</sup>). Все это обусловило аномальный подъем уровня Черного моря, сохранение высоких отметок на протяжении восьми месяцев 2010 г. и наибольшую годовую величину БПВ 554 км<sup>3</sup>.

С учетом этих факторов, тренды составляющих БПВ существенно изменились по сравнению с рассчитанными ранее. Так, коэффициент линейного тренда ряда среднегодовых величин суммарного речного стока (0,37 км<sup>3</sup>/год) впервые оказался статистически значимым на уровне выше 90 %. Таким образом, за последние 87 лет сток увеличился на 32 км<sup>3</sup>. При этом максимальное увеличение стока происходило в холодный период с октября по май (положительные тренды значимы на уровне выше 95 %). В весенне-летний период (апрель – июнь), наоборот, наблюдалось явное уменьшение стока, коэффициенты линейных трендов этих месяцев оказались отрицательными, причем в мае, в период паводка, отрицательный пик графика сезонного хода трендов (– 0,1 км<sup>3</sup>/год) оказался значимым на уровне выше 95 %. Это указывает на стабильное уменьшение количества вод, поступающих в Черное море в периоды весенних паводков (за весь период – 8,7 км<sup>3</sup>). В величине испарения с поверхности моря отмечается тенденция к уменьшению. Значимый коэффициент тренда за весь период составил минус 1,44 км<sup>3</sup>/год, а общий размах тренда испарения минус 125 км<sup>3</sup>. Объясняется это региональными особенностями климатических изменений в последние 30 лет, которые связаны с уменьшением средней скорости ветра и увеличением облачности в летний сезон. Климатические ряды годовых сумм атмосферных осадков, измеренных на береговых станциях (длиной до 135 лет), и расчетные ряды осадков, выпавших на поверхность моря (продолжительностью 87 лет), имеют значимые положительные тренды, что свидетельствует об общем увеличении количества атмосферных осадков над побережьем и акваторией Черного моря за последние 100 лет [3]. Тренды полных рядов украинских станций изменяются от 100 до 167 мм/100 лет, а ряда годовых величин осадков на акваторию моря 183 мм/100 лет, или 77 км<sup>3</sup>/100 лет. За весь расчетный период количество осадков, выпадающих на поверхность Черного моря, увеличилось на 67 км<sup>3</sup>.

Расчет месячных трендов осадков, БПВ и атмосферного давления показал следующее. Наиболее интенсивное увеличение осадков происходит в марте, сентябре и ноябре, когда тренды значимы на уровне выше 95 %. На эти же месяцы приходятся статистически значимые пики трендов БПВ (рис.9). Минимальные и даже отрицательные значения коэффициентов трендов БПВ приходятся на весенне-летний сезон, т.е. на период паводка, с



Рис. 9. Годовой ход коэффициентов линейных трендов осадков, выпавших на поверхность Черного моря, бюджета пресных вод Черного моря и атмосферного давления за период 1923 – 2010 гг.

отрицательными трендами речного стока. Сезонные изменения трендов давления, хорошо согласующиеся с трендами индексов САК, вычисленными за тот же 87-летний период, происходят в противофазе с осадками и БПВ. Это может означать, что при положительных фазах САК, когда траектории циклонов над Атлантико-Европейским сектором смещаются к северу [9], происходит ослабление циклонической

деятельности над Черным морем (преобладают антициклонические условия), сопровождающееся уменьшением количества осадков и величин БПВ. При отрицательных фазах САК, наоборот, траектории циклонов смещаются к югу и проходят через Черноморский регион. При этом поступающие из Атлантики теплые, насыщенные влагой, воздушные массы и осадкообразующая облачность являются причиной увеличения количества осадков над бассейном Дуная, Азово-Черноморским бассейном и, соответственно, увеличения речного стока и осадков, поступающих в Черное море. Именно поэтому межгодовые колебания БПВ и САК, в основном, происходят в противофазе и характеризуются противоположными знаками линейных трендов (рис. 10). Наиболее ярко это проявилось в 2010 г., когда аномальному отрицательному индексу САК (-1,68 при среднем 0,51) соответствовала аномальная величина годового БПВ (554 км<sup>3</sup>, при средней 210 км<sup>3</sup>).

Учитывая многофакторность формирования климата, вряд ли следует ожидать полного совпадения фаз глобальных сигналов с фазами колебаний отдельных параметров регионального климата на сезонном и межгодовом масштабах изменчивости.



Рис. 10. Межгодовые изменения величин бюджета пресных вод Черного моря и индекса Северо-Атлантического колебания.

**Выводы.** По данным инструментальных вековых наблюдений на береговых гидрометеорологических станциях получены характеристики линейных трендов и долгопериодных колебаний среднегодовых, сезонных и среднемесячных значений приземной температуры воздуха, температуры воды, атмосферного давления, уровня моря, осадков и речного стока. Выявленные тенденции долгопериодных изменений этих параметров в определенной мере согласуются с изменениями индексов Северо-Атлантического колебания, Атлантической Мультидекадной осцилляции и солнечной активности.

Установлено, что значимые линейные тренды среднегодовой температуры воздуха и воды в большинстве районов побережья положительны и согласуются по величине с вековым ростом средней глобальной приземной температуры. На фоне ненулевых или нулевых линейных трендов рядов продолжительностью более 100 лет, наблюдаются колебания с периодом 70 – 80 лет и общим повышением температуры в середине и конце XX – начале XXI вв.

С этой цикличностью, возможно, связано общее снижение скорости ветра над бассейном Черного моря во второй половине XX в. Выявленные положительные тренды повторяемости западного и восточного направлений ветра, а также отрицательные тренды повторяемости ветров северо-западного и северо-восточного направлений, позволяют предположить, что одним из механизмов наблюдающегося общего потепления могут быть изменения макроциркуляционных атмосферных процессов, с которыми связаны ослабление меридионального и усиление зонального переносов воздушных масс.

Наиболее заметной, статистически значимой особенностью сезонного хода вековых трендов гидрометеорологических параметров является осеннее увеличение атмосферного давления, похолодания воздуха и воды, уменьшение количества осадков и суммарного притока пресных вод, которые согласуются с максимальным ростом в октябре индексов солнечной активности и Северо-Атлантического колебания.

Региональные климатические изменения в бассейне Черного моря проявляются в значимом росте осадков, выпадающих за год на поверхность моря, увеличении речного стока, уменьшении испарения и увеличении бюджета пресных вод Черного моря. За 87-летний период увеличение БПВ составило 224 км<sup>3</sup> (2,6 км<sup>3</sup>/год), что способствовало повышению среднего уровня моря на 18,5 см (2 мм/год).

Синхронизация хода многолетних трендов температуры воздуха, давления, осадков, бюджета пресных вод с ходом индексов САК и АМО подтверждает влияние глобальных атмосферных сигналов на региональный климат. Это влияние опосредовано сказывается на вариациях атмосферных колебаний над удаленными от Северной Атлантики регионами восточной Европы, в том числе над Азово-Черноморским бассейном, которые, в свою очередь, влияют на гидрологические процессы Черного моря – изменения его температурного режима, пресноводного бюджета, уровня и циркуляции вод.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Проект "Моря СССР"*. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т.IV. Черное море. Вып.1. Гидрометеорологические условия.– Л.: Гидрометиздат, 1991.– 429 с.

2. *Ильин Ю.П., Репетин Л.Н.* Вековые изменения температуры воздуха в Черноморском регионе и их сезонные особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– вып.14.– С.444-456.
3. *Репетин Л.Н., Ильин Ю.П., Долотов В.В., Липченко М.М.* Современные оценки атмосферных осадков, их вклада в водный баланс Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексн. использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2009.– вып.18.– С.193-204.
4. *Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н.* Режим ветра северо-западной части Черного моря и его климатические изменения // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексн. использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008.– вып.17.– С.225-243.
5. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006.– 211 с.
6. *Ильин Ю.П., Симов В.Г., Репетин Л.Н.* Проблемы и перспективы мониторинга водного баланса Черного и Азовского морей // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексн. использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010.– вып.22.– С.175-181.
7. *Ильин Ю.П.* Долгопериодные изменения водообмена между Черным и Эгейским морями в рамках крупномасштабной бокс-модели // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.8.– С.144-151.
8. *Каталог* типов ежедневных полей приземного давления Северного полушария за 1881-1984 гг.– Обнинск, 1986.– 179 с.
9. *Полонский А.Б.* Роль океана в изменениях климата.– Киев: Наукова думка, 2008.– 184 с.

Материал поступил в редакцию 24.11.2011 г.

**АНОТАЦІЯ.** Представлені результати аналізу рядів багаторічних (до 100 – 135 років) гідрометеорологічних спостережень біля берегів північно-західної частини Чорного моря, Криму і Кавказу. Для оцінки реакції регіональних гідрометеорологічних умов прибережної зони Чорного моря на зміни клімату досліджені варіації температури повітря і води, вітру і хвилювання, атмосферного тиску, складових бюджету прісних вод і рівня моря. Міжрічна мінливість перерахованих параметрів оцінювалася на основі рядів середньомісячних і середньорічних значень перерахованих показників(80, 100 і більше років), а також річних величин повторюваності вітру і хвилювання. Отримані оцінки лінійних трендів і низькочастотних коливань в зіставленні зі змінами індексів Північно-Атлантичного коливання і Атлантичного мультидекадного коливання.

**ABSTRACT.** The results of analysis of long-term (100 – 135 years) hydrometeorological investigations are presented near coasts of the north-western Black Sea, Crimea and Caucasus. To estimate a reaction of regional hydrometeorological conditions of off-shore of the Black Sea on the climate changes the variations of air and water temperature, wind and wind wave, atmospheric pressure, components of freshwater budget and sea level are investigated. Interannual variability of parameters above mentioned was estimated on the basis of average monthly and average annual values of the enumerated parameters (80, 100 years and more), and also annual values of wind and wind wave repetition. The estimations of linear trends and low-frequency oscillations are received in comparison with the NAO and AMO indexes changes.