

## ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕРНОГО МОРЯ

*Статья представляет собой обзор основных результатов работ отечественных ученых по изучению временной изменчивости гидрометеорологических характеристик Черного моря.*

**Ключевые слова:** солнечная активность, температура воды, соленость, уровень моря, испарение, осадки, сток рек.

**Вступление.** Изучение межгодовой изменчивости региональных климатических характеристик не теряет своей актуальности до настоящего времени. Отечественными учеными проведен ряд интересных исследований в этой области. Настоящая статья продолжает обзор работ по изучению влияния солнечной активности на циркуляцию атмосферы и временную изменчивость некоторых гидрометеорологических характеристик бассейна Черного моря.

**Обзор результатов исследований.** Исследование гелио-тропосферных связей для некоторых районов Черного моря было проведено в работе Р.В. Смирнова. В качестве сопоставляемого элемента была выбрана температура приземного слоя на ряде станций побережья Черного моря, в том числе, и Одессы. Прослеживались корреляционные связи между колебаниями геомагнитной активности, позволяющей судить о параметрах корпускулярного потока, и флуктуациями температуры воздуха в береговой зоне моря; определялось время запаздывания тропосферного возмущения относительно геомагнитного. Исследовались непрерывные ряды наблюдений за 1961–1963 гг. Выяснено, что искомые связи существуют непрерывно в течение всего периода наблюдений. Теснота связи увеличивается к минимуму солнечной активности, в данном случае от 1961 к 1963 г. Время запаздывания статистически припадает на нулевой день, что свидетельствует о высоких скоростях передачи возмущения из экзосферы в тропосферу, а также подтверждает более непосредственный характер солнечных воздействий на синоптику береговых районов. Выделена 27-ми дневная цикличность в температурном поле тропосферы, что соответствует ритмике солнечной активности [1].

В работе А.К. Богдановой показано, что годовой ход уровня Черного моря тесно связан с ходом цикло-антициклонической деятельности в атмосфере. Повышение циклонической деятельности сопровождается повышением уровня и, наоборот, повышение антициклонической деятельности - понижением уровня. В многолетнем ходе выделяются периоды в 3–4, 5, 10–12 и 24–25 лет и отмечается общая тенденция к повышению уровня Черного моря за 1900–1957 гг., хотя суммарный сток в этот период имел тенденцию к снижению. Это явление объяснено тем, что хотя с 1930 г. нарастание циклонической деятельности в северном полушарии (по Н.А. Белинскому) сопровождается усилением антициклонической деятельности над материком и ведет к уменьшению осадков, увеличение повторяемости нагонных ветров, в то же время, способствует повышению уровня. В этой же работе отмечено осолонение поверхностного слоя (0–75 м) с 1924 по 1951 г [2].

В работе Г.П. Волковой и А.Н. Овсянникова проанализированы ряды среднегодовых уровней с 1924 по 1970 г. по Севастополю (Черное море), Таганрогу (Азовское море) и Кронштадту (Балтийское море). Выявлено преобладание колебаний с 5-летней цикличностью. Размах колебаний составляет 30–35 см. Колебания уровня в

Черном и Азовском морях происходят в одной фазе, а колебания уровня Черного и Балтийского морей - в противофазе [3].

В работе А.Н. Овсянникова и Г.С. Иванова рассчитаны многолетние тенденции уровня моря, температуры и солености воды по средним годовым значениям за 1953–1972 гг., по материалам наблюдений береговых станций (не указано каких) различных морей. Для Черного моря тренд уровня составил +9 см, температуры воды +0,3°C, солености +0,3‰, что объясняется преобладанием за рассматриваемый промежуток времени восточной формы атмосферной циркуляции в эпоху комбинированной восточной (Е) и меридиональной (С) циркуляции. Этим же объясняется и противофаза колебаний уровня Балтийского моря и Азово-Черноморского бассейна. Для выявления многолетней периодичности использовались ряды среднегодовых значений уровня моря по Севастополю и температуры воды по Ялте с 1900 по 1972 гг. В колебаниях этих элементов выявлено преобладание 3-, 4- и 5-летней, в одной фазе (синфазной), периодичности. Авторы придерживаются взгляда об их интерференционном происхождении (возможно, интерференции годовых волн), хотя и приводят мнение И.В. Максимова о том, что периодичность в 5 лет, ввиду несоответствия астрономическим периодам, является следствием нутационных колебаний полюсов Земли [4].

В работе З.А. Голубевой рассчитаны месячные и годовые значения теплового баланса и его составляющих за 1951–1980 гг. Сделан вывод, что в многолетней изменчивости теплового баланса Черного моря значимых трендов не наблюдается [5].

В работе Э.Н. Альтмана и др. приведен многолетний ход солености слоя 0–200 м Черного моря и выделены следующие характерные периоды ее изменения:

- 1) 1923–1940 гг. - относительно стабильные значения (19,26–19,41 ‰);
- 2) 1945–1953 гг. - интенсивное повышение солености от 19,29 до 19,63 ‰, связанное с относительной маловодностью периода и соответствующими изменениями в режиме водообмена через Босфор (в течение всего периода преобладал приток солей над оттоком);
- 3) 1954–1964 гг. - относительно стабильный ход солености при ее высоких значениях (19,60–19,54 ‰);
- 4) 1965–1970 гг. - рассолонение моря (19,55–19,34 ‰);
- 5) 1971–1975 гг. - стабильные значения солености (19,36–19,40 ‰);
- 6) 1976–1981 гг. - интенсивное рассолонение толщи моря, связанное с повышением водности бассейна, уменьшение значений солености с 19,35 до 19,09 ‰ [6].

В работе И.М. Овчинникова и А.С. Осадчего проанализированы вековые ряды температуры воздуха (1880–1985 гг.) за январь и февраль для четырех станций Крыма и Кавказа и выявлены в их ходе устойчивые кратковременные периодичности в 2,2; 2,7; 3,6 и 4,4 года, а также скрытые долговременные колебания с периодом 19,2 года. Отфильтровав кратковременные колебания, путем скользящего осреднения за пять лет, авторы выявили долговременную периодичность, которая при отдельных колебаниях температуры воздуха от 16 до 23 лет в среднем близка к 20 годам, т.е. на изучаемый период пришлось пять полных циклов. Однако, из-за неравномерности проявления теплых и холодных циклов в этих колебаниях, за вековой период накопился значительный избыток положительных отклонений среднезимней температуры, составляющий +8,5 °С. На фоне 20-летних колебаний зимней температуры воздуха выделяется также 60-летняя ее периодичность. Таким образом, упомянутый выше положительный избыток объясняется тем, что вековой промежуток содержал два теплых (900-е и 60-е годы) и только один холодный (30-е годы) цикл. Поэтому авторы делают вывод, что в 90-х годах второй холодный цикл при 60-летней изменчивости

среднезимней температуры воздуха и очередное похолодание при 20-летней ее периодичности должны совместно привести к существенному уменьшению накопившегося избытка тепла или даже к сбалансированности положительных и отрицательных значений. Таким образом, 10-летие 1985–1995 гг. относится к аномально холодному циклу. В заключение авторы высказывают мнение о сходстве в характере изменчивости зимней температуры воздуха над всеми районами Черного моря [7].

Исследованию связи гидрометеорологических процессов в бассейне Черного моря с 11-ти летним циклом деятельности Солнца и характером циркуляции атмосферы в Северной Атлантике посвящено несколько работ последних лет А.А. Сизова. В них оценивалась реакция ряда гидрометеорологических параметров в регионе Черного моря на аномалии циркуляции атмосферы, формирующиеся в разные фазы 11-летнего солнечного цикла. В качестве анализируемых параметров выбраны такие материалы наблюдений: среднегодовые значения чисел Вольфа ( $W_o$ ) за 1900–1994 гг.; средние за январь–февраль и январь–март значения индекса  $\Delta P$  (аналога индекса САК) за 1894–1995 гг.; широта положения планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ) на меридиане  $20^\circ$  в.д. в январе за 1948–1986 гг. ( $\varphi_1$ ); месячные суммы атмосферных осадков в Севастополе за январь–март 1906–1995 гг. ( $R$ ); средний за май сток Днепра в 1948–1982 гг. ( $Q_5$ ); среднемесячный уровень моря у южного берега Крыма за январь–февраль и май–июнь 1949–1993 гг. ( $\eta$ ); среднемесячная температура воды в Кацивели за июнь–июль 1947–1989 гг. ( $t_w$ ). Аномалии величин вычислялись относительно средних значений. Были проанализированы осредненные за 18–22 цикла солнечной активности (период 1944–1995 гг.) значения параметров в разные фазы 11-летнего цикла в последовательности передачи сигнала крупномасштабных возмущений атмосферы верхнему слою моря. Наибольшие положительные значения  $\Delta P$  приходятся на 3–5 годы спада 11-летнего цикла солнечной активности. При этом формируются условия, когда ПВФЗ над центральной Европой смещается к северу, характеризуя северное смещение траекторий циклонов. Однако наиболее синхронизированы величины  $\Delta P_{1,2}$  и  $\varphi_1$  на фазе подъема 11-летнего цикла. В этом случае количество осадков максимально при смещении ПВФЗ на юг ( $\Delta P < 0$ ). Соответственно наблюдается и повышение величины стока рек и уровня моря. Далее рассматривается различие аномалий гидрометеорологических полей при нечетном (№19, 1954–1964 гг.) и четном (№20, 1965–1976 гг.) циклах солнечной активности. В нечетном цикле наблюдается ослабление зонального переноса в атмосфере ( $\Delta P_{1-3} \leq 0$ ), сопровождаемого смещением на юг ПВФЗ (траекторий циклонов над Европой). Это создает условия для повышенной увлажненности в регионе Черного моря, близкому к многолетней норме весеннему стоку Днепра и аномально высокой температуре в прибрежной зоне в летний период. При четном цикле аномалия индекса  $\Delta P_{1-3} > 0$  определяет противоположную структуру. По двум нечетным (19, 21) и трем четным (18, 20, 22) проанализирован характер аномалий гидрометеорологических величин на фазах подъема и спада солнечной активности. Результаты показали, что в нечетных циклах как на фазе роста, так и на фазе спада  $W_o$  преобладают условия, когда  $\Delta P < 0$ . Эти же условия сохраняются на фазе роста четного цикла  $W_o$ , а для фазы спада четного цикла знак аномалии  $\Delta P$  меняется на положительный. Изменение осадков в Севастополе определяется при этом величиной  $\Delta P$ . На фазе роста  $W_o$  в нечетных циклах преобладают ситуации, когда  $R < 0$ , в четных  $R > 0$ . На фазе спада  $W_o$  в нечетных циклах наблюдается повышенное увлажнение ( $R > 0$ ), в четных преобладает его дефицит ( $R < 0$ ). Аналогичный характер имеет изменчивость уровня моря. Это подтверждают и средние значения аномалий  $\Delta P_{1-3}$ ,  $R_{1-3}$  и  $\eta_{5-6}$ . Этот результат указывает на возможность существования 22-летнего цикла в чередовании условий увлажненности, а также и в изменении интенсивности западного переноса в

Атлантико-Европейском секторе, что может быть характерно для всего бассейна Черного моря. Отмечено, что наиболее сухими в различных регионах Европы были годы, относящиеся к фазе спада четного 11-летнего цикла (1989–1993 гг.) [8–10].

В работе А.А. Сизова и В.Н. Белокопытова продолжен анализ особенностей структуры  $\Delta P$ , а также некоторых гидрометеорологических и гидрофизических полей на сей раз на ветви спада 11-летней солнечной цикличности. В качестве исследуемых параметров были выбраны величина  $\Delta P$ , среднегодовой сток Дуная  $Q$  и среднегодовой уровень моря в Севастополе  $\eta$ . Длина рядов с 1884 по 1995 гг. включала на этом временном интервале одиннадцать 11-летних циклов (с 12 по 22). В этом вековом ходе минимум солнечной активности ( $W_o$ ) приходился на 12-16 циклы и в этот же период наблюдался максимум САК ( $\Delta P$ ). Максимум векового хода солнечной активности пришелся на 17–21 циклы. В этот период наблюдался минимум САК, т.е. прослеживалась тенденция изменения САК в противофазе с солнечной активностью. В противофазе с  $\Delta P$  изменялся средний уровень в Ялте и Севастополе. Сток Дуная и уровень моря в вековом ходе проявили тенденцию изменяться в одной фазе с осадками в Ялте и Севастополе. Начиная с 18 по 21 цикл осадки, сток и уровень имели положительный тренд, а к 22 циклу наметился отрицательный тренд. Это объясняется тем, что годы, относящиеся к ветви спада 18 цикла, явились переломными в эволюции общей циркуляции атмосферы. Осреднение аномалий  $\Delta P$ ,  $R$ ,  $Q$ , и  $\eta$ , вычисленных для 0–5 года спада для четного (12, 14, 16, 18, 22) и нечетного (13, 15, 17, 19, 21) циклов, позволило выявить квазидвадцатидвухлетние масштабы изменчивости. При этом четный цикл характеризуется положительной аномалией циркуляции атмосферы и отрицательными аномалиями осадков, стока Дуная и уровня моря. В нечетном цикле развиваются процессы противоположного знака. На основании этого сделан вывод о том, что ОЧТ, эволюция которого отражается на уровне моря, проявляет тенденции флукутировать с квазидвадцатидвухлетней цикличностью, ослабевая в годы спада четного цикла и усиливаясь в годы спада нечетного цикла. Во все годы спада 11-летней цикличности интенсивность САК в четные циклы выше, чем в нечетные. Соответственно сток Дуная в четном цикле меньше, чем в соответствующие годы нечетного цикла. Такая же тенденция межгодовой изменчивости просматривается и в майском уровне моря. Автором выявлено хорошее фазовое соответствие в межгодовой изменчивости стока Дуная и несколько менее тесное соответствие в межгодовой изменчивости уровня моря на ветви спада 11-летней цикличности в четных циклах 12 и 22, удаленных друг от друга примерно на 105 лет. Это позволило сделать вывод о возможности существования колебаний с периодичностью, близкой к 60 годам, которая должна прослеживаться и в нечетных циклах [11].

В еще одной работе А.А. Сизова проанализированы климатические процессы в атлантико-европейском секторе в годы спада 11-летнего цикла солнечной активности. Исследуемыми параметрами являлись давление в азорском максимуме  $P_o$ , его широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$  (ряды за 1891–1984 гг.), данные по числу дней с антициклонами (циклонами) в Атлантико-Европейском секторе (1900–1964 гг.), аналог индекса Североатлантического колебания  $\Delta P$  (1894–1995 гг.) и суточные суммы осадков в Крыму  $R$  (1901–1995 гг.). Показано, что среднее состояние азорского максимума и циркуляции атмосферы над Европой различно в четные и нечетные циклы солнечной активности. В четные циклы давление в азорском максимуме выше климатической нормы. При этом над Европой в зимний сезон число дней с антициклонами превышает климатическую норму, а зимние осадки в Крыму ниже климатической нормы. В нечетные циклы метеорологические процессы развиваются с обратным знаком. Давление в азорском максимуме ниже климатического, над Европой увеличивается

число дней с циклонами, а осадки в Крыму зимой превышают климатическую норму [12].

В работе А.А. Сизова и В.Н. Белокопытова для характеристики климатической составляющей изменчивости метеорологических и гидрологических полей в регионе Черного моря были выбраны аномалии индекса  $\Delta P$  за 1894–1995 гг., среднегодового стока Дуная  $Q$  за 1881–1996 гг. и среднегодового уровня моря в Севастополе  $\eta$  за 1882–1996 гг. Анализ этих гидрометеорологических характеристик в годы спада 11-летней солнечной активности показал, что в вековом периоде выделяются квазидвадцатидвухлетние флуктуации аномалий  $\Delta P$  и  $\eta$ . При этом в годы спада солнечной активности четных циклов существовала устойчивая тенденция превышения индекса САК климатического среднего значения, приводящая к тому, что траектории циклонов над Европой смещались преимущественно к северу, уменьшая количество осадков в бассейне Дуная, и, следовательно, уменьшая его сток. В это время над Черным морем преобладал антициклонический характер циркуляции. Совместное понижение стока Дуная и преимущественно антициклонической циркуляции атмосферы ослабляли ОЧТ и возникала отрицательная аномалия уровня моря  $\eta$ . В фазы спада нечетных циклов солнечной активности эти процессы проявляли тенденцию развиваться в противоположном направлении. В работе также отмечается, что в изменчивости  $Q$  просматривается тенденция к более крупномасштабной изменчивости в пределах векового цикла. Возможно, эта флуктуация имеет масштаб 60 лет, но из-за недостаточной длительности рядов не может быть надежно выделена [13].

В работе Е.Н. Воскресенской проанализирована межгодовая - десятилетняя изменчивость климатических характеристик отдельных приморских курортных областей Черного и Средиземного морей и типичная периодичность возникновения экстремальных климатических условий. Использовались среднемесячные данные о приземной температуре воздуха, температуре поверхности воды, абсолютной влажности, атмосферном давлении и скорости ветра за 1951–1997 гг. В качестве характеристик глобальных климатических процессов использовались индексы САК (североатлантическое колебание), ЮК (южное колебание, связанное с событием Эль-Ниньо) и ТДО (тихоокеанская декадная осцилляция). Показано, среднегодовая температура воздуха в районе Крыма увеличилась на  $0,1^\circ\text{C}$  за 50 лет, возросла абсолютная влажность (ее линейный тренд достигал  $0,2$  г/кг за 50 лет), уменьшилась температура воды ( $-0,035^\circ\text{C}$ ). Далее в работе показано, что межгодовая и десятилетняя изменчивость климатических характеристик в районе Крыма формируется под влиянием глобальных сигналов Тихого и Атлантического океанов. При этом совместный эффект от вклада межгодовой изменчивости САК и ЮК и десятилетних колебаний ТДО и САК в зимний период достигает 70 %, в летний 40–45 % [14].

В работе И.Г. Шокуровой и др. оценена междесятилетняя изменчивость температуры воды и солености (за период 1951–1995 гг.) в августе на северо-западном шельфе и в центральной части Черного моря (до изобаты 100 м). На поверхности, как в области шельфа, так и в центральной части наблюдается минимум температуры в период 1976–1985 гг. и максимум в период 1986–1995 гг. Разница между ними составляет  $1,5^\circ\text{C}$ . В области холодного промежуточного слоя (на горизонте 50 м) максимум температуры приходится на период 1961–1970 гг., а затем наблюдается понижение температуры. Разница составляет  $1^\circ\text{C}$ . На горизонте 20 м на шельфе и в центральной части моря разность между максимальными значениями солености, имеющими место в 1966–1975 гг., и минимальными значениями (на шельфе в 1986–1995 гг., в центральной части в 1981–1990 гг.) составляет  $0,3$  ‰. На горизонтах 0 и 50 м изменчивость солености имеет такой же характер, как и на горизонте 20 м [15].

В работе В.Н. Белокопытова и И.Г. Шокуровой исследована междесятилетняя изменчивость средних по Черному морю значений температуры и солености в сезоны февраль-март, июль-август и октябрь-ноябрь на стандартных горизонтах. Используются многочисленные данные глубоководных наблюдений за период 1951–1995 гг. Выявлены различные тенденции многолетней изменчивости температуры и солености в верхнем слое моря (0–50 м) и в слое пикноклина. Основная тенденция многолетних изменений в верхнем слое – понижение температуры, составляющее, в среднем 1 °С за последние 30 лет. Период 1966–1975 гг. характеризуется повышением значений солености, затем следует период понижения солености. Уменьшение значений солености на поверхности за последние 20 лет составляет в среднем 0,22 ‰. Устойчивое повышение солености отмечено на всех горизонтах в слое основного пикноклина. После периода 1961–1970 гг. оно составило от 0,14 ‰ на горизонте 300 м до 0,33 ‰ на 100 м. Повышение температуры на горизонте 200 м составило 0,12 °С, на 300 м 0,04 °С. Причины таких тенденций многолетней изменчивости в настоящей работе не рассматриваются, хотя упоминается, что изменения обусловлены крупномасштабными процессами в системе океан-атмосфера [16].

В работе Ю.Н. Горячкина и В.А. Иванова проанализирована многолетняя изменчивость солености поверхностных вод по данным МГС Ялты. Выявлено, что за период 1960–2000 гг. произошло понижение солености. Особенно заметное понижение наблюдалось в последние 15 лет. При этом величина размаха углового коэффициента тренда составила 0,3 ‰ [17].

В работе Р.В. Боровской и др. по данным спутниковых дистанционных зондирований получены характеристики режима апвеллинга в прибрежных водах Черного моря и выявлены периоды межгодовых колебаний его интенсивности в связи с особенностями атмосферной циркуляции. Выявлено, что на северо-западном шельфе апвеллинги наблюдаются наиболее часто. В отдельные годы число дней с наличием апвеллинга составляет 10–18 в месяц, а продолжительность непрерывного существования апвеллинга составляет от 1 до 10 суток. На северо-западе апвеллинги преобладают в июле и августе. Временная изменчивость условного показателя «холодозапаса» показывает 2–3-летнюю цикличность (максимальные пики приходятся на 1990, 1993, 1996 и 2003 гг.). Установлено, что увеличение среднего над Черным морем атмосферного давления в январе-июне ведет к активизации апвеллингов на востоке северо-западного района моря. Восточные атмосферные переносы, развивая в первом полугодии соответствующую циркуляцию вод, усиливают интенсивность прибрежных апвеллингов в Черном море в летние месяцы [18].

В работе О.Р. Андриановой и др. проведен сравнительный анализ периодичности экстремальных всплесков и провалов среднегодовых значений уровня моря на ряде станций Черного моря, расходов Дуная и Днепра, а также суммы годовых осадков в Одессе и периодичности среднегодовых высот уровня на ряде станций восточного побережья Тихого океана. Было выявлено, что на восточном побережье Тихого океана колебания лет с различными по величине всплесками уровня (сильными, средними и слабыми) наблюдаются через 3–6, 8–14, и 16–23 года. На Черном море преобладающие возмущения в среднегодовых высотах уровня имели место через 2–5, 7, 11, 14–15, 18 и 26 лет. Основные периоды колебаний стока Дуная (со ссылкой на работу «Гидрология устья Дуная», 2004) по степени значимости составляют 32, 3–4, 12–14, 2–3, и 8 лет. Исследование всплесков и провалов в межгодовом ходе среднегодовых расходов воды Днепра (за 150-летний период) показало периоды колебаний в 2–6, 8–12 и 26 лет. И, наконец, в межгодовой изменчивости осадков в течение всего рассматриваемого периода доминировали 2-5, 8–14, 16–22 и 34 летние волновые возмущения. Между годами с сильными всплесками в исследуемых

характеристиках Черного моря и аналогичными годами в уровне на восточном побережье Тихого океана существует определенная согласованность, выражающаяся в их синхронном появлении или с отклонениями, не превышающими  $\pm 2$  года. Но ожидаемого общего запаздывания процессов в Черном море не наблюдается, что ставит под вопрос, являются ли всплески и провалы характеристик Черного моря откликом на Эль-Ниньо или природа их иная. Обобщая результаты исследований, авторы констатируют, что годы с сильными всплесками уровня на Тихоокеанском побережье и в гидрометеорологических характеристиках Черного моря в среднем наблюдались через 11–12 лет, что говорит об идентичности развития процессов в Мировом океане и о возможной связи этих процессов с 11-летним циклом солнечной активности [19].

В еще одной работе О.Р. Андриановой и др. выполненный спектральный анализ временных рядов уровня моря на станциях западной части Черного моря показал существование в колебаниях этой характеристики целого спектра волновых возмущений равных 2,4, 3,5, 4,4, 8–10, 12–14, 21 и 32 года. Со ссылкой на работу «Гидрология устья Дуная, 2004» авторы указывают, что природа такой изменчивости, по-видимому, климатическая, поскольку выявленная цикличность близка к периодам солнечной активности, которые обычно считают равными 11 и 33 годам [20].

В работе В.В. Ефимова приводится оценка группы экспертов Межправительственной комиссии об изменении климата, основанная на всестороннем анализе всей имеющейся информации. Изменение скорости и величины повышения средней температуры воздуха Северного полушария в XX в., особенно в его второй половине, носит исключительный характер и выходит за рамки оценок естественных флуктуаций, связанных с внешними или внутренними природными факторами (изменением солнечной активности, вулканической деятельности и др.). Утверждается, что с 90%-ой значимостью изменения климатических характеристик последнего столетия вызваны возрастающей антропогенной нагрузкой на климатическую систему Земли. Численные модели прогнозируют дальнейшее повышение глобальной температуры воздуха в XXI в. на 2,5–4,5 °С. Далее в работе приводятся результаты анализа аномалий температуры воздуха над поверхностью Черного моря за период 1959–1998 гг. за зимние (декабрь–февраль) и летние (июнь–август) месяцы. Изменение средней температуры за зимний период практически отсутствует, в то время как для летних месяцев температура воздуха повысилась на 0,8 °С. За тот же период произошло понижение температуры воды, причем особенно существенно в зимний период (около 1 °С). Это различие в поведении поверхностной температуры воды в Черном море по сравнению с температурой воздуха наблюдается и в отрицательной тенденции изменения поверхностной температуры воды у Ялты в зимний период. Причиной такого аномального понижения температуры воды при одновременном росте температуры воздуха является уменьшение толщины верхнего перемешанного слоя, что приводит к большей теплоотдаче, а значит и к большему понижению температуры воды. Хотя остается неясной причина самого многолетнего подъема нижней границы верхнего перемешанного слоя [21].

В работе Ю.П. Ильина и Л.Н. Репетина по данным вековых инструментальных наблюдений на прибрежных гидрометеостанциях северо-западной части Черного моря, Крыма и Кавказа получены характеристики линейных трендов и долгопериодных колебаний среднегодовых, сезонных и среднемесячных значений приземной температуры воздуха. Установлено, что за период 1894–2003 гг. в Одессе среднегодовая температура воздуха имеет значимый положительный линейный тренд с коэффициентом наклона 0,8 °С/100 лет. Это максимальный коэффициент среди 7-ми гидрометеостанций черноморского побережья, для которых авторами вычислены аналогичные тренды. Положительные тренды присутствуют также в Севастополе,

Феодосии и Новороссийске. В Очакове, Ялте и Батуми среднегодовая температура воздуха не имеет значимых линейных трендов. Сглаженные 5-летним скользящим осреднением и аппроксимированные полиномом 5-ой степени ряды среднегодовых значений температуры воздуха на станциях северо-западной части моря и Крыма показали практически синхронные межгодовые колебания на масштабах 5–15 лет, а также колебания с периодом 70-80 лет и общим повышением температуры воздуха в конце XIX в., середине и особенно значительное повышение в конце XX в. В тоже время на Кавказском берегу долговременные изменения среднегодовой температуры воздуха отличаются как по фазе, так и по форме, что объясняется авторами либо нехваткой данных за последние годы, либо отличием в климатических изменениях на региональном уровне. Для зимнего (декабрь-февраль) и летнего (июнь-август) сезонов на станциях Одессы и Севастополя определены положительные линейные тренды в многолетних среднесезонных значениях температуры воздуха. В Одессе более значительный тренд наблюдается в зимний период. А вот низкочастотные колебания происходят в противофазе, т.е. долгопериодные повышения температуры зимы соответствуют таким же периодам с пониженной летней температурой, и наоборот. Многолетняя амплитуда сезонного хода температуры воздуха, т.е. разность между максимальной и минимальной средними месячными температурами для данного года характеризует тенденцию «континентальности» климата. Для северо-западного региона (Одесса и Очаков) линейные тренды этой характеристики за весь период значимо отрицательные, т.е. здесь отмечается снижение континентальности климата. Связано это с более медленным ростом температуры летнего сезона, чем холодного. А в вековом изменении амплитуды сезонного хода температуры воздуха прослеживаются колебания с периодом 70-80 лет. Причем, в последние 20 лет континентальность климата имеет тенденцию к росту. Авторами также были рассчитаны вековые линейные тренды для каждого месяца года по каждой из станций с наиболее длинными рядами. Для Одессы наибольшие положительные коэффициенты наклона приходятся на декабрь-март (1,1–1,8). Только для октября месяца этот тренд отрицательный (–0,3). Были также рассчитаны вековые месячные линейные тренды индекса Северо-Атлантического колебания (САК) и чисел Вольфа ( $W$ ) и построены графики сезонного распределения этих трендов, а также аналогичный график осредненных по региону месячных трендов температуры воздуха, которые показали определенную, хотя и достаточно сложную синхронизацию этих характеристик. А сглаженные скользящим 4-летним осреднением кривые многолетнего хода осредненной по побережью температуры воздуха и индекса САК показали полную синхронность в противофазе. По мнению авторов, эти результаты являются дополнительным аргументом в пользу внеземного влияния на климатическую систему в последовательности: Солнце (как источник или индикатор внешнего воздействия) - САК (как показатель глобальных вынужденных и собственных климатических колебаний в системе «океан-атмосфера») - региональный климат. И все-таки, в заключение авторы отмечают, что если механизмы воздействия САК на региональный климат в целом понятны, то солнечно-земные связи многофакторны и до настоящего времени мало изучены и поэтому до сих пор учитываются только на уровне гипотез [22].

В работе А.Е. Липченко и др. проанализирована межгодовая изменчивость испарения с поверхности Черного моря за период 1923–2005 гг. За весь период произошло сокращение годовых сумм испарения со всей поверхности моря, а наиболее заметное уменьшение происходило с начала 50-х до конца 80-х гг. Интенсивность испарения в этот период сократилась на 30 %. Значение углового коэффициента составило –8,3 мм/год. Причиной такого уменьшения испарения явилось существенное снижение скорости ветра над Черным морем в указанный период. Рассчитав

коэффициенты корреляции между годовой повторяемостью типов атмосферной циркуляции и годовыми суммами испарения, среднегодовыми значениями скорости ветра, упругости насыщения водяного пара, авторы установили, что наиболее значимы корреляции между повторяемостью типов циркуляции и ветром. На всех метеостанциях наблюдаются отрицательные значения коэффициентов корреляции скорости ветра и испарения с годовыми частотами зональной циркуляции ( $W$ ) и положительные с годовыми частотами меридиональной циркуляции ( $E$ ,  $C$ ,  $E+C$ ). Этот факт, а также наличие положительного тренда в частотах зональной циркуляции при одновременном ослаблении меридиональных процессов в Северном полушарии в исследуемый период, подтверждает влияние изменений крупномасштабной циркуляции атмосферы на региональные климатические изменения. Усиление зональных процессов влияет на траектории циклонов, отклоняя их в более высокие широты. В свою очередь, рост меридиональности в циркуляции атмосферы вызывает усиление циклонической деятельности в умеренных широтах. Поэтому в регионе Черного моря в период преобладания зональной циркуляции устойчиво снизилась скорость ветра. Свой вклад в сокращение годовых сумм испарения внесли также изменения упругости водяного пара, что в свою очередь было связано с понижением температуры воды и воздуха в летнее время. Авторы выдвинули предположение, что такое уменьшение температуры воздуха и воды связано с уменьшением прямой солнечной радиации в летнее время из-за изменения оптических свойств атмосферы [23].

В работе Л.Н. Репетина и др. на основании 82-летнего ряда месячных и годовых величин, рассчитанных по методу модульных коэффициентов, а также по данным береговых станций продолжительностью 100 и более лет проведен анализ климатической изменчивости осадков над Черным морем. На всех береговых станциях за весь период наблюдений выявлены положительные линейные тренды годовых осадков, т.е. количество осадков над Черным морем за столетний период увеличилось. Для Одессы величина тренда составляет 102 мм/100 лет. Полиномиальная аппроксимация временных рядов позволила выделить в межгодовых изменениях количества осадков долгопериодные колебания (60–70 лет) с общим уменьшением осадков в 20–30-х и 80–90-х гг. Увеличение осадков в 60–70-х гг. совпадает с общей для региона тенденцией понижения температуры и усиления ветра, что, вероятно, связано с повышенной активностью циклонической деятельности в этот период. Скользящее 5-летнее осреднение временных рядов осадков выделило колебания с периодом близким к 10 годам, фазы которых в последнем 50-летию XX в. совпадают с 11-летними циклами солнечной активности. Расчеты месячных линейных трендов показали, что интенсивное увеличение осадков за более чем вековой период произошло не только в холодный, но и в теплый сезон. В Одессе только в октябре тренд значимо отрицательный. Сравнение временных рядов годовых сумм осадков и индекса САК, сглаженных 5-летним скользящим осреднением показало, что как долгопериодные (60–70 лет), так и десятилетние изменения осадков происходят в противофазе с изменением индекса САК. При положительных фазах САК происходит ослабление циклонической деятельности над Черным морем, и количество осадков уменьшается, и наоборот [24].

**Выводы.** Работы, приведенные в настоящем обзоре, свидетельствуют о наличии определенных связей между деятельностью Солнца, циркуляцией атмосферы и временными колебаниями гидрометеорологических характеристик черноморского бассейна. Необходимо и в дальнейшем выявлять и тщательно изучать эти связи.

## Список литературы

1. Смирнов Р.В. О связи колебаний температурного поля тропосферы береговых районов Черного моря с геомагнитными возмущениями // Вопросы физики моря (Труды юбилейной сессии). – К.: Наукова думка, 1966. – С. 169–178.
2. Богданова А.К. Многолетние колебания уровня моря и величина материкового стока как факторы, определяющие изменения гидрологического режима Черного моря // Труды СБС. – 1960. – Т. XIII. – С. 386–393.
3. Волкова Г.П., Овсянников А.Н. Некоторые особенности колебаний уровня в Азовском, Черном и Балтийском морях // Труды ГОИН. – 1978. – Вып.137. – С. 43–46.
4. Овсянников А.Н., Иванов Г.С. Сезонная и многолетняя изменчивость морских гидрологических элементов по наблюдениям вековой сети // Труды ГОИН. – 1978. – Вып.137. – С. 4–16.
5. Голубева З.А. Изменчивость теплового баланса поверхности Черного моря // Труды ГОИН. – 1987. – Вып.180. – С. 21–32.
6. Альтман Э.Н., Гертман И.Ф., Касич Т.Г. Многолетняя изменчивость солевого баланса Черного моря // Труды ГОИН. – 1987. – Вып.180. – С. 33–44.
7. Овчинников И.М., Осадчий А.С. Вековая изменчивость зимних климатических условий, определяющих особенности гидрологического режима Черного моря // Изменчивость экосистемы Черного моря: естественные и антропогенные факторы. – М.: Наука. – 1991. – С. 85–89.
8. Сизов А.А., Новоселова А.А., Порхунцова Л.Г. О реакции атмосферы и верхнего слоя Черного моря на межгодовые вариации североатлантического колебания // Комплексные экологические исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ НАНУ, 1995. – С. 5–17.
9. Сизов А.А. Оценка возможности использования индекса северо-атлантического колебания для типизации аномалии поля атмосферных осадков на юго-западном побережье Крыма // Метеорология и гидрология. – 1998. – №11. – С. 70–77.
10. Сизов А.А. Оценка возможности мониторинга гидрометеорологических полей в регионе Черного моря с учетом возмущений, формирующихся в разные фазы одиннадцатилетнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: 2000. – С. 63–71.
11. Сизов А.А., Белокопытов В.Н. Формирование аномалий гидрометеорологических и гидрофизических полей Черного моря в годы спада 11-летнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2001. – Вып.2. – С. 86–93.
12. Сизов А.А. Климатические процессы в Атлантико-Европейском секторе в годы спада 11-летнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2003. – Вып. 9. – С. 29–38.
13. Сизов А.А., Белокопытов В.Н. Особенности гидрометеорологических и гидрологических полей Черного моря в фазу спада 11-летнего цикла солнечной активности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2004. – Вып. 10. – С. 109–118.
14. Воскресенская Е.Н. Изменчивость Климатических характеристик Курортных местностей Черного и Средиземного морей под влиянием глобальных процессов в системе океан-атмосфера // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2003. – Вып. 9. – С. 39–48.
15. Шокурова И.Г., Пластун Т.В., Белокопытов В.Н., Халиулин А.Х. Сравнительный анализ изменчивости гидрологических характеристик вод северо-западного шельфа и центральной части Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2004. – Вып. 10. – С. 17–26.
16. Белокопытов В.Н., Шокурова И.Г. Оценки междесятилетней изменчивости температуры и солёности в Черном море в период 1951-1995 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 12–21.
17. Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Изменчивость солёности поверхностных вод в прибрежной зоне Южного берега Крыма // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 22–28.
18. Боровская Р.В., Панов Б.Н., Спиридонова Е.О., Лексикова Л.А., Кириллова М.В. Прибрежный черноморский апвеллинг и межгодовая изменчивость его интенсивности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2005. – Вып. 12. – С. 42–48.
19. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Экстремумы в среднегодовых характеристиках Черного моря, как следствие дальних проявлений Эль-Ниньо // Экологическая безопасность прибрежной и

шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2005. – Вып. 13. – С. 364–374.

20. Андрианова О.Р., Белевич Р.Р., Скипа М.И. Особенности динамики суши и уровня западного побережья Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2006. – Вып. 14. – С. 177–185.

21. Ефимов В.В. Изменение климата Черноморского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2005. – Вып. 13. – С. 322–334.

22. 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, 2006. – Вып. 14. – С. 433–448.

23. Липченко А.Е., Ильин Ю.П., Репетин Л.Н., Липченко М.М. Уменьшение испарения с поверхности Черного моря во второй половине XX столетия как следствие глобальных изменений климата // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2006. – Вып. 14. – С. 449–461.

24. Репетин Л.Н., Долотов В.В., Липченко М.М. Пространственно-временная и климатическая изменчивость атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Черного моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2006. – Вып. 14. – С. 462–476.

#### **Часова мінливість гідрометеорологічних характеристик Чорного моря.**

**Доценко С.А.**

*Стаття являє собою огляд головних результатів робіт вітчизняних вчених по вивченню часової мінливості гідрометеорологічних характеристик Чорного моря.*

**Ключеві слова:** сонячна активність, температура води, солоність, рівень моря, випаровування, опади, сток річок.

#### **Temporal variability of hydro-meteorological characteristics of Black-sea.**

**Dotsenko S.A.**

*The article is a review of basic performances of jobs of domestic authors on the study of hydro-meteorological characteristics of Black-sea.*

**Key words:** sun activity, waters temperature, salinity, seas level, evaporation, precipitation, rivers flow.