

МОРСЬКА ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЯ

УДК 551.46

В.П. Евстигнеев, В.А. Наумова, М.П. Евстигнеев,
Т.Г. Мытник

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ПО ДАНЫМ МОРСКИХ БЕРЕГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ

Проведено исследование статистического распределения среднесуточной температуры воды (T_w) по данным 30 береговых пунктов наблюдения Азово-Черноморского побережья Украины за весь период наблюдений. Выявлены сезонные особенности статистического распределения T_w . Выделены три типа акваторий, различающихся термическим режимом, среди которых в один тип были объединены районы интенсивных апвеллинговых процессов летнего сезона. Предложено использовать в качестве количественной меры интенсивности апвеллингов на любой отдельно взятой станции параметр статистического распределения – коэффициент асимметрии.

Ключевые слова: температура воды, апвеллинг, Азово-Черноморский регион, статистическое распределение.

Введение

В последнее время в связи с накоплением достаточно длительных рядов наблюдений за гидрометеорологическими параметрами особое внимание исследователей привлекает анализ условий возникновения различных экстремальных гидрометеорологических явлений, выявление многолетних тенденций в их повторяемости и пр.[1-3]. Для прибрежных регионов исследования такого типа имеют несомненную практическую значимость в вопросах обеспечения безопасности мореплавания и береговой инфраструктуры [1], развития рекреационного потенциала прибрежных зон [4], мониторинга изменений в состоянии морских экосистем [5].

Одним из наиболее важных гидрометеорологических параметров морской среды является температура поверхностного слоя воды (T_w).

Исследования температурного режима и теплового баланса морских бассейнов ограничено малым объемом имеющихся данных контактных наблюдений в открытой части моря. Источником наиболее длительных рядов T_w являются данные наблюдений морской береговой сети. Массивы наблюдений на береговых пунктах позволяют оценить температурный режим только прибрежной зоны моря и лишь косвенно – его открытой части, которая может быть исследована методами дистанционного зондирования. Однако использование спутниковых данных в непосредственной близости к берегу ограничено из-за эффекта внутренней засветки [6]. Поэтому для верификации и калибровки гидродинамических моделей морских акваторий используются данные морских береговых наблюдений. Адекватность таких процедур ограничена воспроизводимостью эффектов береговой зоны, приводящих при определенных условиях к подъему глубинных вод низкой температуры и высокой солености (апвеллинг) [7-9]. Зона апвеллинга характеризуется повышенным содержанием биогенных элементов, способствующих развитию морских биологических сообществ. А также она оказывает влияние на климат прилегающих районов [8]. Исследованию апвеллингов в Черном море посвящено множество работ (см.[10] и библиографию в ней).

Несмотря на наличие многочисленных справочных данных, атласов и научных публикаций в периодических изданиях по температурному режиму вод в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна [11, 12], системный анализ закономерностей возникновения экстремальных температур либо отсутствует, либо ограничен объемом выборок используемых данных и/или недостаточным для освещения количеством пунктов наблюдений. Задача выделения экстремальных явлений требует анализа статистической структуры распределения T_w по всем доступным рядам данных морской береговой сети пунктов наблюдения. Предметом исследования настоящей работы является статистическая структура среднесуточной температуры воды в прибрежной части Азовского и Черного морей по данным морских береговых наблюдений гидрометслужбы Украины.

Материалы и методы

Морская гидрометеорологическая сеть наблюдений за температурой моря на Азово-Черноморском побережье Украины включает 35 пунктов.

Однако в настоящей работе использовались данные морских береговых наблюдений за температурой воды по 30 станциям и постам Азово-Черноморского побережья Украины из библиотеки электронных таблиц Севастопольской гидрометеорологической обсерватории за весь доступный период (табл. 1). Расчет статистических характеристик не проводился по данным МГ «Херсонесский маяк», по которому, начиная с 1987 года, пропуски наблюдений за температурой воды составляют 20-25 % в летний сезон и 70-75 % в зимний. Также из рассмотрения были исключены данные постов МГП Стерегущий и МГП Стрелковое, которые являются сезонными постами (наблюдения на них проводятся только в ледовый период). И данные постов МГП Кацивели и МГП Змеиный, наблюдения на которых ведутся непродолжительное время (2-4 года). Все использованные данные были подвергнуты контролю качества в системе АССОКА (Морская гидрология) [13] в соответствии с Наставлением [14].

Наблюдения за T_w проводятся на 30 морских береговых пунктах в разные сроки: 4-срочные (00, 06, 12, 18), 3-срочные (06, 12, 18) или 2-срочные (06, 18). Сведения о сроках наблюдения для рассматриваемых пунктов представлены в табл. 1. В связи с этим анализ характера внутрисезонного изменения параметров распределений T_w для разных станций требует ответа на вопрос: меняется ли статистическая структура T_w при уменьшении дискретности наблюдений с 4- до 2-сроков? В настоящей работе был проведен перерасчет среднесуточной T_w по двум срокам 06 и 18 для станций с 4- или 3-срочными наблюдениями (табл. 1) и проведено последующее сравнение статистических распределений среднесуточной T_w по 4(3)-срочным наблюдениям с T_w по 2-срочным наблюдениям с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Это позволило установить, что во всех без исключения случаях статистические распределения неразличимы с достоверностью 95 %. Этот результат дает основание проводить сравнение статистических распределений T_w для пунктов не зависимо от количества сроков наблюдения.

Расчет статистических распределений и их параметров: среднее, среднеквадратическое отклонение, коэффициенты эксцесса и асимметрии, размах (амплитуда) – проводился с помощью соответствующих встроенных функций среды Microsoft Excel 8.0. Расчет пороговых значений экстремальных температур воды проводился с использованием

специально написанных макросов на языке 'Visual Basic for Microsoft Excel'.

Таблица 1

Сведения о пунктах наблюдения морской береговой сети
гидрометслужбы Украины

	Пункт наблюдения	Период наблюдения	Сроки
Черное море			
1	МГ Усть-Дунайск	1981 - действ.	00,06,12,18
2	МГП Приморское	1945 - действ.	06,18
3	МГП Цареградское гирло	1957 - действ.	06,18
4	МГ Белгород-Днестровский	1944-1964; 1974 - действ.	00,06,12,18
5	ГМБ Ильичевск	1960 - действ.	00,06,12,18
6	МГП Паромная переправа	1978 - действ.	00,06,12,18
7	МГ Одесса-порт	1875 - действ.	00,06,12,18
8	МГ Южный	1979 - действ.	00,06,12,18
9	МГ Очаков	1874 - действ.	06,18
10	МГП Парутино	1962 - действ.	06,18
11	МГП Николаев	1873 - действ.	06,18
12	МГП Станислав	1924 - действ.	06,18
13	МГП Касперовка	1904 - действ.	06,18
14	МГП Херсон	1914 - действ.	06,18
15	МГП Геройское	1938 - действ.	06,18
16	МГ Хорлы	1923 - действ.	00,06,12,18
17	МГ Черноморское	1927 - действ.	06,12,18
18	МГ Евпатория	1914 - действ.	00,06,12,18
19	МГ Севастополь	1873 - действ.	00,06,12,18
20	МГ Ялта	1900 - действ.	06,12,18
21	МГП Алушта	1927 - 1964; 1979 - действ.	06,12,18
22	МГ Феодосия	1903 - действ.	06,18
Керченский пролив			
23	МГП Заветное	1950 - действ.	06,18
24	МГП Керчь	1893 - действ.	06,18
25	МГ Опасное	1944 - действ.	00,06,12,18
Азовское море			
26	МГ Мысовое	1925 - действ.	00,06,12,18
27	МГП Чонгарский мост	1934 - действ.	06,18
28	МГ Геническ	1890 - действ.	06,12,18
29	МГ Бердянск	1922 - действ.	00,06,12,18
30	ГМО Мариуполь	1916 - действ.	06,12,18

Определение статистического подобия распределений и иерархический кластерный анализ температурных размахов проводился в средах Microsoft Excel 8.0 и Statistika 6.0. При проведении кластерного анализа использовались различные методы агломерации, доступные в среде Statistika 6.0. С точки зрения качественной оценки содержимого кластеров наиболее адекватным оказался метод Варда, который действительно довольно успешно применяется в практике гидрометеорологических и климатических исследований [15]. В частности, ранее с использованием этого метода нам удалось успешно выделить типы синоптических процессов, приводящих к возникновению штормов в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна [16].

Результаты и обсуждение

Общие характеристики статистического распределения среднесуточной T_w

В настоящей работе для каждого из пунктов наблюдений Азово-Черноморского побережья Украины (табл. 1) были получены статистические распределения среднесуточной температуры воды за весь период наблюдений до 2010 г. Результат расчетов представлен на рис. 1. Для наглядности статистическое распределение T_w каждого из пунктов наблюдения Азово-Черноморского побережья изображено в виде «бокса», который характеризует центр выборки (медиана), асимметрию, разброс данных и т.д. Такое представление позволяет проследить изменение статистических параметров от сезона к сезону и соотнести их для различных участков побережья. В целом полученный результат согласуется с известными литературными данными (см., например, [11]). Зимой статистические распределения T_w в мелководных районах Черного и Азовского морей обладают выраженной асимметрией с «хвостом» в области положительных температур, что связано с льдообразованием и, как следствие, стабилизацией температур вблизи точки замерзания. Исключения составляют пункты приглубинных районов (например, побережье ЮБК), на которых распределение температур обладает близкой к симметричной формой, а их центр лежит достаточно далеко от точки замерзания морской воды (но не более 9 °С). Стоит также выделить пункт МГП «Чонгарский мост», более 10 % зимних среднесуточных температур которого лежат ниже -2 °С (рис. 1). Однако наблюдения на МГП «Чонгарский мост» проводятся на берегу залива Сиваш, где среднемноголетняя соленость составляет 23 ‰.

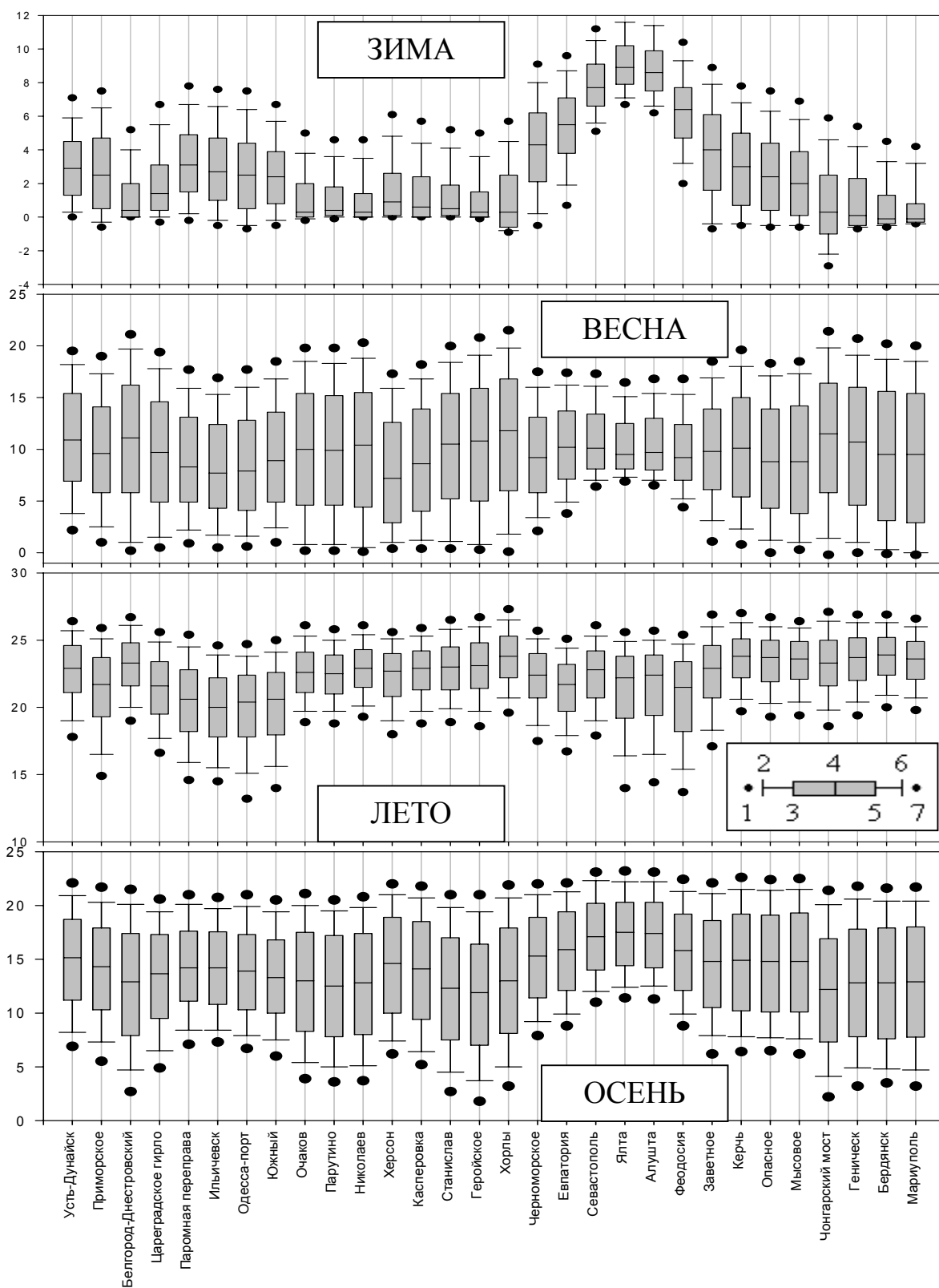


Рис. 1. Статистические характеристики среднесуточной температуры воды в зависимости от сезонов года по данным сети морских гидрометеорологических наблюдений: 1, 7 – квантили 0,05 и 0,95; 2, 6 – квантили 0,1 и 0,90; 3, 5 – квантили 0,25 и 0,75; 4 – медиана

Практически для всех участков побережья распределение весенних и осенних среднесуточных температур характеризуется наибольшим разбросом от 0 °С до температур больших 20 °С, что обусловлено интенсивным прогревом водной поверхности в прибрежных акваториях весной и выхолаживанием осенью. Причем наиболее интенсивны эти процессы для мелководных районов, где термика поверхностного слоя предопределяется теплообменом с атмосферой, что, в конечном итоге, выражается в согласованности хода T_w с температурой воздуха [11, 12]. Кроме того, по той же причине весной центры распределения температур прибрежных вод обоих морей выравниваются и становятся близкими 10 °С, что также было отмечено в работе [11] при анализе данных наблюдений за многолетний период до 1984-1985 гг.

Обращают на себя внимание пункты, расположенные на побережье ЮБК (МГ Ялта, МГП Алушта, МГ Феодосия). Изменчивость температур воды весной и осенью здесь наименьшая на всем украинском побережье Черного и Азовского морей, что, очевидно, является следствием большого теплозапаса и тепловой инерционности водных масс этих глубоководных районов. Однако ситуация становится обратной в летний сезон, когда разброс температур на этих станциях является наибольшим, при этом можно выделить следующие особенности летнего термического режима. Размах летних температур на этих станциях превосходит таковой для остальных сезонов; более 10 % всех летних среднесуточных температур воды лежат ниже 15 °С; распределение T_w обладает выраженной отрицательной асимметрией. Помимо пунктов наблюдений на ЮБК схожие особенности летнего термического режима отмечены на пунктах северо-западной части Черного моря: МГ Одесса-порт, ГМБ Ильичевск, МГ Южный, МГП Приморское, МГП Паромная переправа.

Высокая изменчивость температур на этих участках побережья летом обусловлена развитием апвеллинга под действием ветров сгонных направлений – западных, северных и северо-западных румбов [1]. Апвеллинг является основной причиной возникновения в этих районах экстремально низких температур воды при высоких температурах воздуха. Наглядно влияние апвеллингов на термический режим прибрежных зон иллюстрирует рис. 2. Так для пунктов устьевого взморья (МГП Геройское) или Азовского моря (МГ Мысовое) наблюдается устойчивая связь температур воды и воздуха, в то время как для участков

с выраженными апвеллинговыми процессами (МГ Ялта, МГ Одесса-порт) эта связь нарушается (рис. 2а, б).

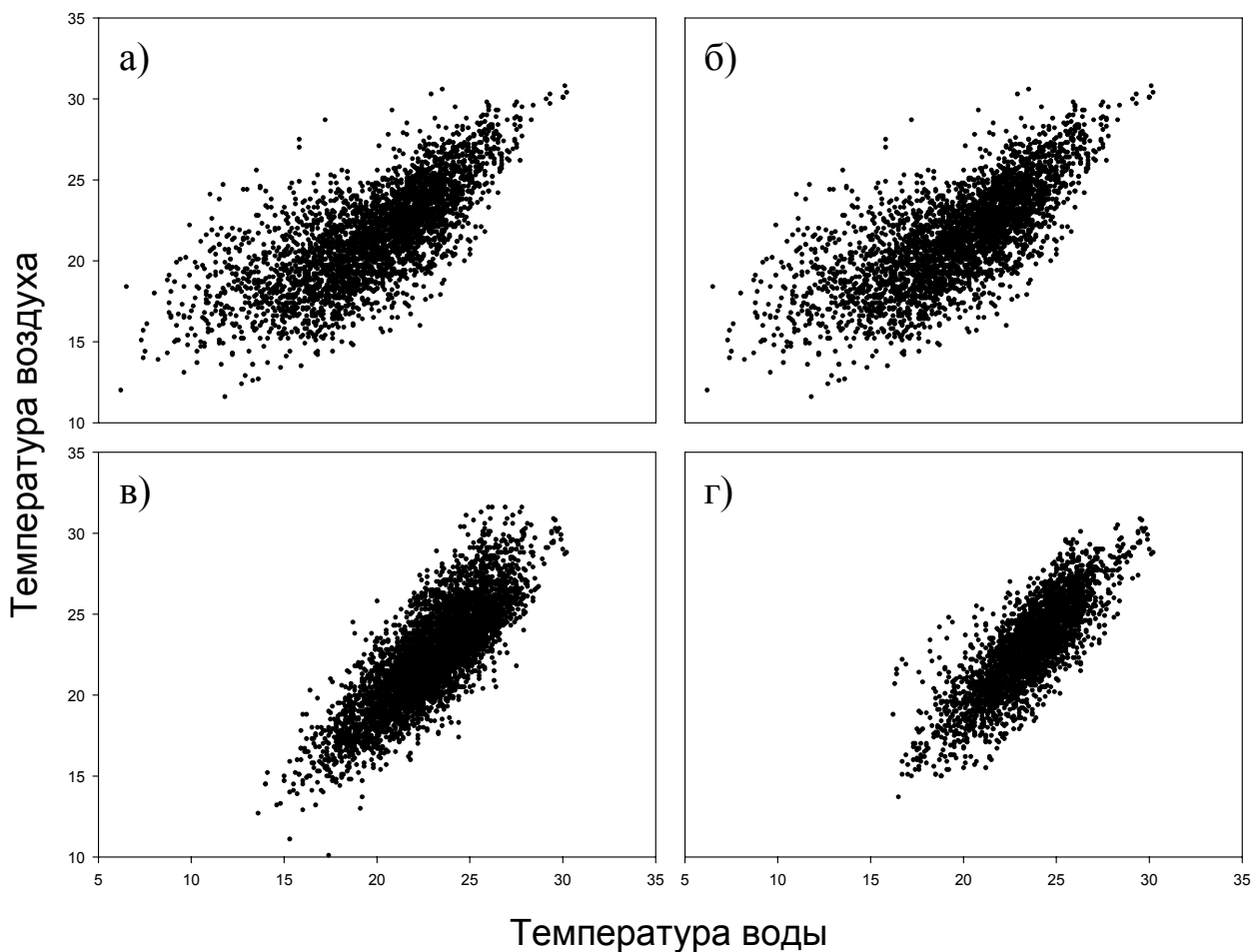


Рис. 2. Графики связи температуры воды и воздуха по некоторым пунктам наблюдений: а) МГ Ялта; б) МГ Одесса-порт; в) МГП Геройское; г) МГ Мысовое

Районирование прибрежной зоны Азово-Черноморского бассейна по размаху температур воды

Для более детального описания экстремально низких температур воды в летний сезон в прибрежной зоне Азово-Черноморского бассейна был проведен анализ годового распределения абсолютных размахов среднесуточных температур воды ΔT . Под размахом (амплитудой) будем понимать разность между абсолютным максимумом и абсолютным минимумом среднесуточных температур воды за рассматриваемый многолетний период: $\Delta T = T_{max} - T_{min}$. Ранее в работе [17] был проведен подобный анализ для среднемесячных температур с использованием данных наблюдений до 1963 года. В частности, для Азовского моря

сезонный ход ΔT оказался довольно однородным для всех пунктов, общей чертой которого было наличие двух максимумов в весенних и осенних месяцах. Аналогичная структура сезонного хода сохранилась и по сей день (рис. 3).

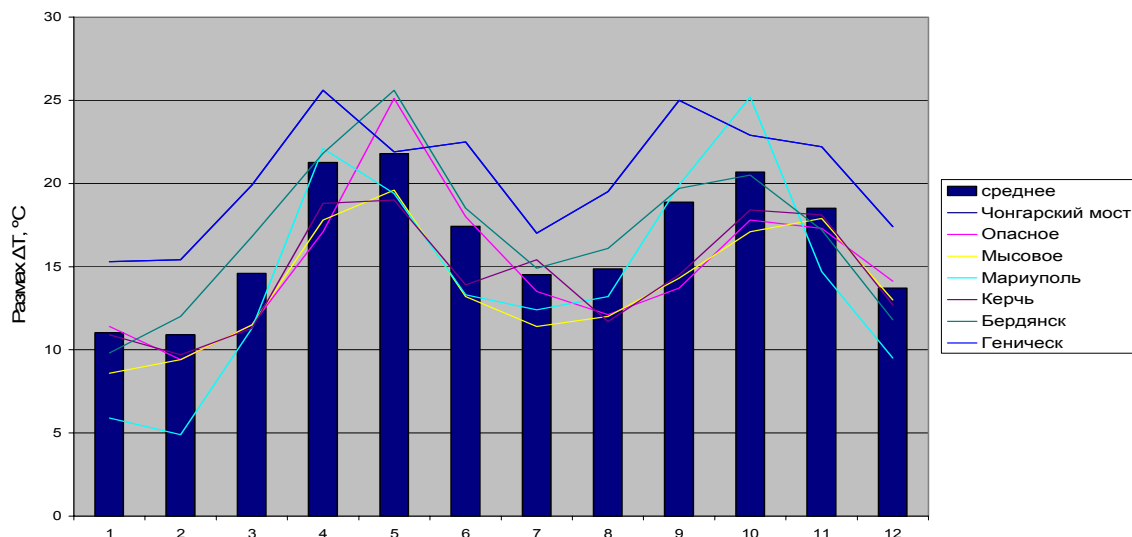


Рис. 3. Месячные размахи среднесуточных температур воды ΔT для пунктов наблюдения украинской прибрежной зоны Азовского моря за многолетний период до 2010 г.

По мнению автора [17] такая структура амплитуд свидетельствует о том, что морской температурный режим Азовского моря обусловлен его мелководностью, где температура поверхностного слоя моря в основном формируется под воздействием солнечной радиации. Естественно ожидать, что для отдельных пунктов наблюдения Черного моря, расположенных на побережье глубоководных районов, сезонная структура размахов среднесуточных температур ΔT будет иной. В работе [17] среди факторов, разрушающих структуру годового распределения размахов, указаны такие: влияние сгонно-нагонной циркуляции, замкнутость акваторий, речной сток и т.п.

С целью более детального анализа наиболее характерных для Азово-Черноморского региона типов годового распределения ΔT , последние, полученные по каждому из пунктов, были подвергнуты группировке методом кластерного анализа (рис. 4). При этом использовались ряды абсолютных температурных размахов, рассчитанных для каждого из 366-ти суток года с последующим вычетом среднего размаха за год. Поскольку число классов разбиения не было известно, нами использовался иерархический тип кластерного анализа.

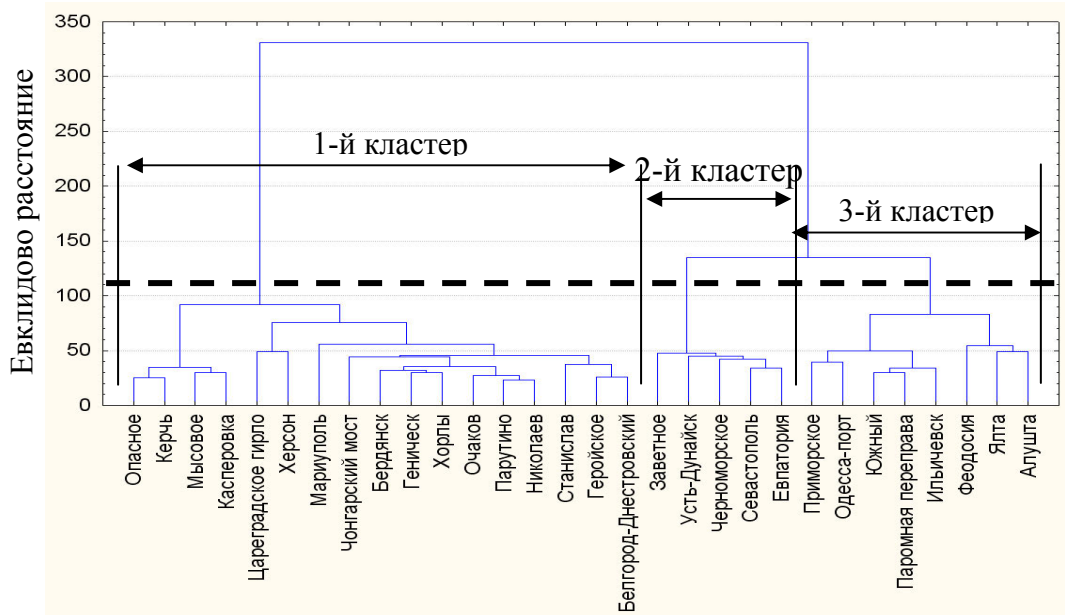


Рис. 4. Дендрограмма годового распределения размахов ΔT по данным станций морских береговых наблюдений Азово-Черноморского региона Украины

Как следует из дендрограммы, по степени структурного различия внутригодового хода ΔT могут быть выделены три основные группы пунктов наблюдения. Годовые распределения абсолютных размахов ΔT для пунктов каждого из выделенных кластеров, а также центроидные распределения, представлены на рис. 5.

В кластер первой наибольшей группы (рис. 5а) вошли пункты Азовского побережья и Керченского пролива (за исключением МГП Заветное), пункты устьевого взморья Черного моря и мелководного Каркинитского залива (МГ Хорлы). Структура годового распределения ΔT , представленная на рис. 5а, имеет общие черты с графиком на рис. 3. Совместно с результатами, представленными в работах [11, 17], это позволяет сделать вывод о том, что в формировании температурного режима поверхностного слоя моря в данных мелководных акваториях существенная роль отводится радиационному фактору и теплообмену с атмосферой. Причем действие этого фактора достаточно велико, несмотря на влияние, например, речного стока (см. пункты Днепро-Бугского лимана).

Во второй тип вошли пять пунктов наблюдения: МГП Заветное, МГ Севастополь, МГ Евпатория, МГ Черноморское, МГ Усть-Дунайск (рис. 5б). Размахи ΔT на этих пунктах не обладают четкой годовой структурой, хотя на рис. 5б прослеживается небольшое летнее повышение

величины размаха, что делает этот тип качественно близким к третьему кластеру.

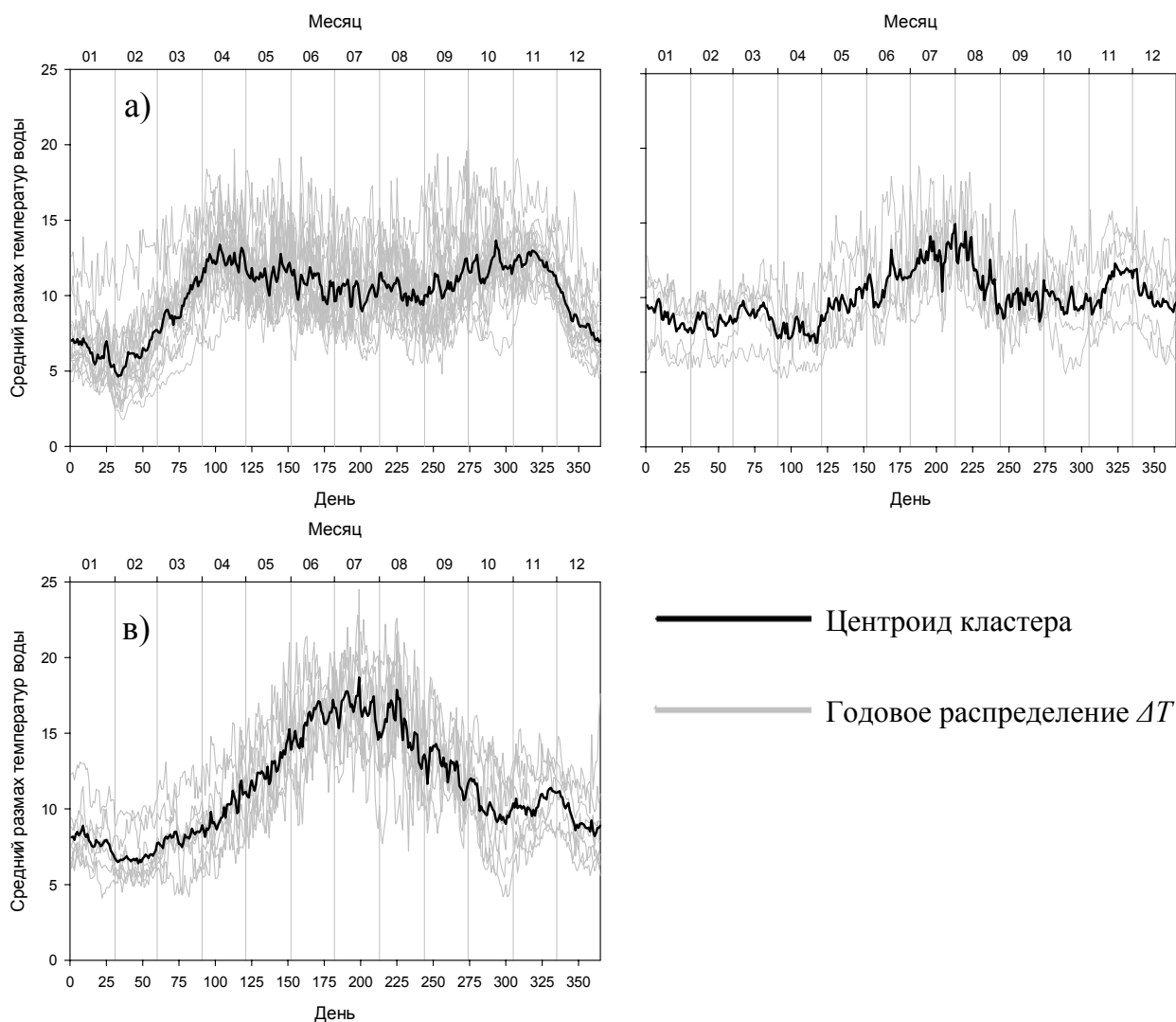


Рис. 5. Годовое распределение размахов ΔT по группам, выделенным кластерным анализом: а) кластер 1; б) кластер 2; в) кластер 3

Но в целом данный кластер был сформирован по причине неопределенности и слабой выраженности хода размахов, что может быть объяснено действием большого количества искажающих факторов равной интенсивности. Так, например, МГ Севастополь, МГ Черноморское находятся в почти замкнутых бухтах, что способствует различию режима вод этих акваторий от вод открытого моря. МГ Усть-Дунайск располагается в Жебриянской бухте и находится под воздействием вод речного стока реки Дунай. МГП Заветное располагается у входа в Керченский пролив, где интенсивный водообмен между Азовским и

Черным морями может приводить к искажениям термического режима прибрежных вод. Для МГ Евпатория объяснения причин возможного искажения годовой структуры размахов ΔT нами не было найдено.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет третий кластер (рис. 5в), в который вошли пункты ЮБК (МГ Ялта, МГП Алушта и МГ Феодосия) и Северо-западной части Черного моря (МГ Одесса-порт, МГ Южный, ГМБ Ильичевск, МГП Паромная переправа, МГП Приморское). Структура годового хода температурных размахов этого типа обладает четко выраженным максимумом, приходящимся на летние месяцы. Известно [10], что летом в прибрежной зоне рассматриваемых акваторий создаются благоприятные условия для развития апвеллингов, т.е. подъема глубинных вод с заведомо низкой температурой, приводящих к значительному увеличению абсолютных размахов ΔT . Условно третий кластер будем называть «апвеллинговым» типом.

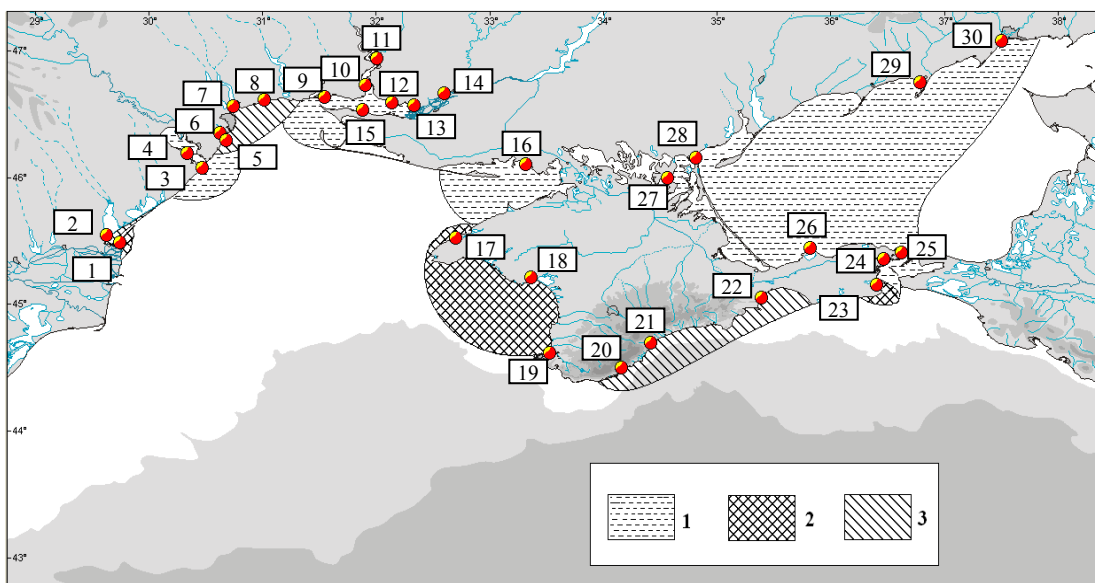


Рис. 6. Карта районов Азовского и Черного моря по годовому распределению размахов температуры поверхностного слоя: 1 – первый кластер; 2 – второй кластер; 3 – третий кластер

На рис. 6 представлено районирование украинских прибрежных акваторий Азово-Черноморского бассейна в соответствии с выделенными типами структуры размахов ΔT . Это районирование несколько отличается от того, которое было выполнено в работе [17]. К набору пунктов наблюдения, формирующих третий «апвеллинговый» кластер в нашей

работе, в [17] добавлены пункты Керченского пролива (первый кластер в нашей работе), а также некоторые пункты второго кластера, на которых структура годового размаха температур воды существенно искажена. Стоит отметить, что в [17] автором было выделено всего два класса, в то время как в нашей работе их три. Указанное различие может быть объяснено тем, что в [17] для классификации автор использовал не структуру годового размаха температур на различных пунктах, а коэффициент корреляции между ними.

Таким образом, для пунктов «апвеллингового» типа апвеллинги являются причиной доминирования летних температурных контрастов по сравнению с остальными сезонами года. Выше при анализе статистических распределений температур воды был также сделан вывод о существенном влиянии летних апвеллингов на статистические параметры той же группы пунктов, выделенной кластерным анализом.

Анализ характеристик статистического распределения среднесуточной температуры воды (T_w) летнего сезона

Проведем более подробный анализ статистического распределения летних температур воды, используя в качестве числовых параметров среднюю температуру, среднеквадратическое отклонение (СКО), эксцесс (Эксцесс) и асимметрию распределения (следуя названию функции расчета асимметрии в Excel 8.0, введем обозначение СКОС), характеризующие степень отличия распределения от нормального.

Следуя рекомендациям работы [11], первоначально был проведен предварительный анализ статистического распределения среднедекадных температур с целью определения минимально допустимого временного интервала для исключения влияния сезонного хода температур воды на расчет параметров распределения.

В табл. 2 в качестве примера приведены результаты расчёта для отдельных выбранных пунктов наблюдения, характеризующих три основных района Черного и Азовского морей: Северо-западный (МГ Одесса-порт, МГ Хорлы), Крымский (МГ Ялта, МГ Евпатория), Керчь-Туапсинский (МГ Феодосия) и Азовское море (МГ Мариуполь).

Из табл. 2 следует, что форма распределения, характеризуемая параметрами СКО, Эксцесс и СКОС, существенно меняется не только при переходе от одного месяца к другому, но и внутримесячно, т.е. при переходе между декадами каждого отдельно взятого месяца.

Таблица 2

Параметры статистического распределения среднесуточной температуры поверхности моря по данным наблюдений на морской береговой сети Украины

Пар-ры распред.	Июнь			Июль			Август		
	дек. 1	дек. 2	дек. 3	дек. 1	Дек. 2	дек. 3	дек. 1	дек. 2	дек. 3
МГ Ялта									
Среднее	17,1	18,3	19,3	20,7	21,3	22,7	23,6	23,8	23,2
СКО	2,6	3,0	3,3	3,4	3,6	2,7	2,1	1,5	2,0
Эксцесс	1,3	1,2	1,5	2,8	2,3	6,2	10,2	3,4	11,1
СКОС	-0,8	-1,0	-1,3	-1,6	-1,6	-2,0	-2,3	-1,1	-2,3
МГ Евпатория									
Среднее	18,2	19,5	20,5	21,0	21,8	22,1	22,7	23,0	22,7
СКО	1,8	2,0	2,0	2,1	2,1	2,5	2,2	1,6	1,7
Эксцесс	0,3	1,1	1,8	0,9	2,3	1,5	1,7	2,4	0,6
СКОС	-0,4	-0,6	-0,8	-0,4	-1,0	-1,0	-1,1	-0,9	-0,6
МГ Феодосия									
Среднее	16,9	18,0	18,4	19,8	20,9	22,3	23,0	23,0	22,4
СКО	2,6	3,1	3,6	3,6	3,3	2,6	2,3	2,3	2,5
Эксцесс	0,3	-0,1	-0,2	0,1	0,3	1,4	1,3	6,8	4,5
СКОС	-0,5	-0,4	-0,6	-0,7	-0,8	-1,0	-0,9	-2,0	-1,6
МГ Одесса-порт									
Среднее	17,5	18,4	19,0	19,8	20,0	20,8	21,3	21,1	20,4
СКО	2,8	3,5	3,6	3,4	3,7	3,4	3,1	2,9	3,0
Эксцесс	0,6	0,6	0,1	0,3	0,2	1,2	1,1	1,4	0,3
СКОС	-0,6	-0,7	-0,6	-0,7	-0,7	-1,0	-1,0	-1,0	-0,7
МГ Хорлы									
Среднее	21,5	22,7	23,5	24,1	24,6	24,8	24,7	23,9	22,8
СКО	2,2	2,2	2,0	2,0	1,8	2,0	1,9	1,9	2,2
Эксцесс	0,3	-0,3	0,4	0,0	0,4	0,1	0,3	-0,2	-0,6
СКОС	-0,3	-0,2	-0,4	0,0	-0,3	0,0	-0,1	-0,4	0,1
МГ Мариуполь									
Среднее	20,8	22,3	23,2	24,0	24,5	24,7	24,6	24,0	23,0
СКО	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7
Эксцесс	-0,2	-0,3	-0,2	0,0	0,1	0,1	0,1	-0,5	-0,6
СКОС	0,3	0,1	0,0	0,1	0,2	-0,1	-0,1	0,0	-0,1

Это означает, что анализ формы статистического распределения среднесуточных температур воды необходимо проводить как минимум на декадном уровне, при этом дальнейшая детализация распределения на внутридекадном уровне, на наш взгляд, не является целесообразной. Кроме того, характер изменений функции распределения различен для различных пунктов. Следовательно, надежный анализ распределений должен проводиться по каждой станции отдельно.

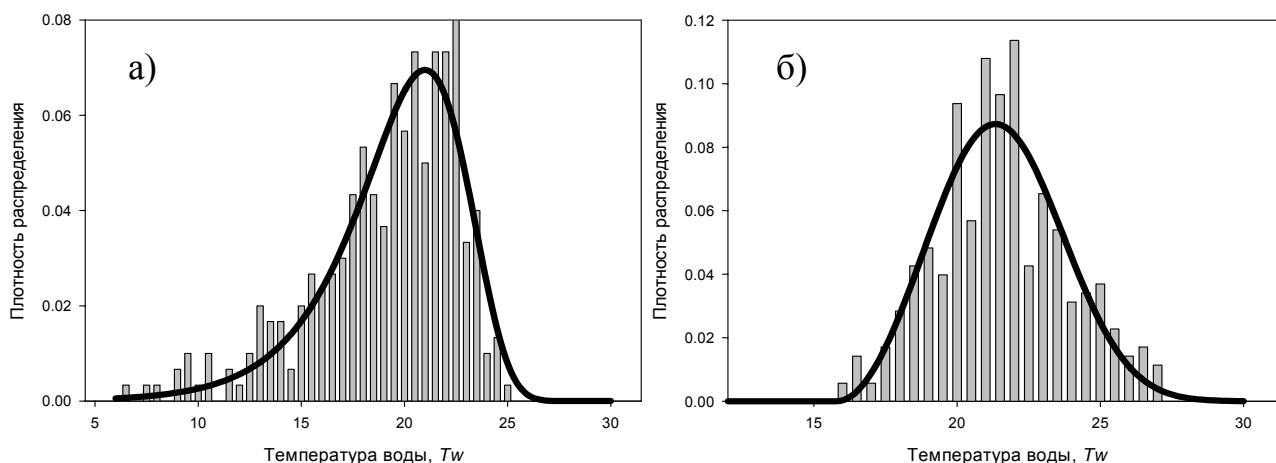


Рис. 7. Гистограмма распределения среднесуточной температуры поверхностного слоя T_w за декаду летнего сезона, рассчитанная за период 1981-2010 гг.: а) 3-я декада июня на МГ Ялта; б) 3-я декада августа на МГП Геройское

Анализ подекадного распределения среднесуточной T_w для разных пунктов наблюдения позволяет условно разделить все возможные формы статистических распределений на две основные группы: группа 1 с существенно асимметричным распределением с ярко выраженным удлиненным «хвостом» распределения в области низких температур, и группа 2 с примерно симметричным распределением. Примеры распределений, относящихся к группам 1 и 2, приведены на рис. 7. Количественной характеристикой асимметрии распределения является параметр СКОС, приведенный в табл. 2, причем отрицательный знак этого параметра характеризует асимметрию распределения, вызванную низкими температурами. В табл. 3 сведены значения параметра СКОС для всех рассматриваемых пунктов, усредненные за весь летний сезон и упорядоченные в порядке возрастания. Пункты наблюдения, принадлежащие левой половине таблицы, могут быть условно отнесены к группе 1 распределений, а станции правой половины – к группе

2 распределений. Наибольший отрицательный СКОС наблюдается для МГ Ялта и МГП Алушта, а наименьший – для МГ Бердянск и МГП Станислав. Следовательно, на этих пунктах наблюдения следует ожидать наиболее и наименее интенсивные апвеллинги соответственно. Примечательно, что для целого ряда пунктов наблюдения параметр СКОС принимает положительные значения (см. пункты 23-30 в табл. 3). В таком случае развитие апвеллинга в этих районах можно считать крайне маловероятным событием, во всяком случае, он не приводит к заметному уменьшению температуры поверхностного слоя воды.

Таблица 3

Среднее за летний сезон значение параметра СКОС

1	МГ Ялта	-1,26	16	МГП Геройское	-0,23
2	МГП Алушта	-1,00	17	МГ Геническ	-0,23
3	МГ Феодосия	-0,94	18	МГ Хорлы	-0,18
4	МГ Усть-Дунайск	-0,83	19	МГ Белгород-Днестровский	-0,12
5	МГ Евпатория	-0,75	20	МГП Керчь	-0,08
6	МГ Одесса-порт	-0,72	21	МГП Станислав	-0,05
7	МГП Приморское	-0,65	22	МГ Бердянск	-0,03
8	МГП Заветное	-0,55	23	МГ Опасное	0,01
9	МГ Южный	-0,48	24	МГ Очаков	0,03
10	МГ Черноморское	-0,43	25	ГМО Мариуполь	0,05
11	МГ Севастополь	-0,35	26	МГП Касперовка	0,06
12	МГП Чонгарский мост	-0,32	27	МГП Парутино	0,17
13	МГП Цареградское гирло	-0,26	28	МГ Мысовое	0,18
14	ГМБ Ильичевск	-0,26	29	МГП Николаев	0,18
15	МГП Паромная переправа	-0,25	30	МГП Херсон	0,22

На наш взгляд, параметр СКОС статистического распределения может рассматриваться в качестве количественной меры интенсивности охлаждения вод апвеллингами в летний сезон. Отметим, что оценка ошибки определения параметра СКОС по имеющимся рядам наблюдений для наиболее характерных пунктов, отнесенных к «апвеллинговому» типу (МГ Ялта, МГП Алушта, МГ Феодосия, МГ Одесса-порт), не превышает 15 % от величины параметра, что свидетельствует о достоверности разделения пунктов наблюдения на две группы. Данные табл. 3 находятся в хорошем соответствии с результатом проведенного выше районирования акваторий. Все пункты наблюдения, формирующие

«апвеллинговый» тип (3-й кластер), вошли в левую половину табл. 3 с отрицательным значением параметра СКОС. В то же время, в эту часть таблицы вошли станции второго кластера, на которых годовой ход размахов температуры воды слабо выражен, хотя и близок с качественной точки зрения к «апвеллинговому» типу.

Анализ подекадного изменения параметров СКО, Экссесс и СКОС в табл. 2 позволяет сделать вывод, что только для пунктов наблюдения первой группы распределений с апвеллингами характер внутрисезонного тренда формы распределения в целом является, более или менее, выраженным и примерно одинаковым для разных станций. В частности, наблюдается рост значения параметра СКОС вплоть до достижения максимума в конце июля и в августе, при этом параметр Экссесс вполне закономерно коррелирует со значением СКОС, характеризуя большее отклонение от нормального распределения по мере увеличения параметра СКОС. Полученный результат означает, что в среднем более интенсивные апвеллинги на пунктах наблюдения черноморского побережья Украины имеют место во второй половине лета. В отличие от СКОС, параметр СКО, характеризующий диапазон разброса температур, достигает максимума к концу июня и в июле. Для станций второй группы выраженной закономерности в поведении параметров формы распределения обнаружено не было.

Анализ экстремальных значений среднесуточной T_w в летний сезон

Статистические распределения среднесуточной T_w , рассчитанные в предыдущем подразделе, могут быть использованы для определения подекадных экстремальных температур для каждой станции. Критерий экстремальности, традиционно используемый в гидрометеорологической практике, соответствует 1 % или 5 % квантилям статистического распределения [18]. В табл. 4 приведены расчетные значения порогов экстремальности на похолодание для избранных станций.

Обращает на себя внимание выраженный внутримесячный ход величины порога, что свидетельствует о необходимости определения экстремальных значений T_w только на подекадном уровне. Этот результат вполне согласуется с обсужденным выше характером внутримесячного изменения статистического распределения T_w . Отметим, что разница пороговых температур 1 % и 5 % квантилей распределения коррелирует со значением параметра СКОС в табл. 2, демонстрируя заметное возрастание по мере увеличения асимметрии. Данные с табл. 4 могут

быть использованы в качестве справочных по многолетним экстремальным среднесуточным T_w на береговых станциях Азово-Черноморского побережья Украины.

Таблица 4

Определение порога экстремальности на похолодание среднесуточной T_w

Персентиль	Июнь			Июль			Август		
	дек.1	дек.2	дек.3	дек.1	дек.2	дек.3	дек.1	дек.2	дек.3
МГ Ялта									
1 %	9,2	9,0	9,1	8,9	9,7	12,0	13,9	19,1	14,8
5 %	12,4	12,3	12,1	13,4	13,1	18,1	20,2	21,5	20,5
МГ Евпатория									
1 %	13,1	14,0	15,0	14,7	14,5	14,3	15,8	18,3	18,0
5 %	14,9	16,0	17,3	17,3	18,1	17,3	18,4	20,4	19,6
МГ Феодосия									
1 %	10,0	9,5	9,1	10,3	11,8	14,1	16,2	14,0	12,6
5 %	12,0	12,7	11,5	12,6	14,2	17,0	19,1	18,9	18,0
МГ Одесса-порт									
1 %	10,0	8,6	9,5	10,2	10,1	10,2	11,7	12,5	12,0
5 %	12,5	11,6	12,0	13,3	12,7	14,0	14,9	15,3	14,7
МГ Хорлы									
1 %	15,7	17,5	17,9	19,6	20,6	19,7	20,1	19,3	18,6
5 %	17,8	18,5	20,3	20,6	21,7	21,7	21,3	20,6	19,3
МГ Мариуполь									
1 %	16,6	18,3	19,4	20,4	21,0	20,9	20,6	20,5	19,2
5 %	17,8	19,4	20,5	21,4	21,9	22,0	22,0	21,4	19,9

Анализ многолетней изменчивости повторяемости экстремальных температур воды, определенных с использованием рассчитанных порогов, выходит за рамки данной публикации и является предметом дальнейших исследований.

Выводы

В настоящей работе проведено исследование статистического распределения среднесуточной температуры воды по данным 30 береговых пунктов наблюдения Азово-Черноморского побережья Украины за весь период наблюдений. Показано, что дискретность наблюдений за T_w не оказывает значимого влияния на форму статистического распределения. Выявлены сезонные особенности

статистического распределения T_w . Проведено районирование прибрежных акваторий Украины по годовому ходу амплитуд среднесуточной температуры воды ΔT . Методом кластерного анализа выделены три типа акваторий, различающихся термическим режимом, среди которых в один тип были объединены районы интенсивных апвеллинговых процессов летнего сезона. Поскольку летний апвеллинг сопровождается понижением температуры воды вплоть до экстремальных для этого сезона значений, был проведен более подробный анализ статистической структуры летних среднесуточных T_w . Установлено, что анализ формы распределения должен проводиться на подекадном уровне, поскольку параметры распределения существенно меняют свои значения в течение летнего сезона. Предложено использовать в качестве количественной меры интенсивности апвеллингов на любой отдельно взятой станции параметр статистического распределения коэффициент асимметрии, соответствующий встроеной функции «СКОС» программы Microsoft Excel и характеризующий асимметрию распределения. На основании рассчитанных распределений определены подекадные пороги экстремальных T_w для каждого пункта в отдельности.

* *

1. Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П. и др. Ветро-волновые условия Азово-Черноморского побережья Украины // Наук. пр. УкрНДГМІ. – 2010. – № 259. – С. 263-283.
2. Alexander L.V. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111. – D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.
3. Caesar J., Alexander L.V., Vose R. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation // J. Geophys. Res. – 2006. – V. 111. – D05101, doi: 10.1029/2005JD006280.
4. Valchev N., Trifonova E. Wave climate clustering to define threshold values with respect to the expected morphological response // J. Coastal Res. – 2009. – V. 56. – P. 1666-1670.
5. Фурман Е., Мунстерхьелм Р., Салемаа Х. и др. Балтийское море: Окружающая среда и экология. – Хельсинки, 2002. – 24 с.
6. Суетин В.С., Королев С.Н., Суслин В.В. и др. Проявления атмосферных искажений в данных спутникового прибора SeaWiFS в окрестности океанографической платформы в Кацивели летом 2002 г. // Экологическая

- безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2004. – Вып. 11. – С. 174-183.
7. *Боуден К.* Физическая океанография прибрежных вод: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 324 с.
 8. *Джиганишин Г.Ф., Полонский А.Б., Музылева М.А.* Апвеллинг в северо-западной части Черного моря в конце летнего сезона и его причины // Морской гидрофизический журн. – 2010. – № 4. – С. 45-57.
 9. *Яценко А.В., Урюжников Е.П.* Идентификация стонных колебаний температуры воды // Тр. ГОИН. – 1987. – Вып. 180. – С. 71-79.
 10. *Иванов В.А., Михайлова Э.Н.* Апвеллинг в Черном море. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. – 92 с.
 11. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. – С.Пб.: Гидрометеоиздат, 1991. – С. 374-389.
 12. *Ильин Ю.П., Фомин В.В., Дьяков Н.Н., Горбач С.Б.* Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 1. Азовское море. – Севастополь: МЧС и НАНУ, Мор. отд-ние УкрНИГМИ, 2009. – 402 с.
 13. *Евстигнеев В.П., Наумова В.А., Евстигнеев М.П.* Комплекс автоматизированных систем сбора, обработки, контроля, анализа и хранения данных гидрометеорологических наблюдений – АССОКА // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2009. – С. 157-162.
 14. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л.: Гидрометеоиздат. – 1984. – Вып. 9, Ч. 1. – 312 с.
 15. *Wilks D.* Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. – [2nd ed.]. – Academic Press, 2006. – 648 p.
 16. *Воскресенская Е.Н., Наумова В.А., Евстигнеев М.П., Евстигнеев В.П.* Классификация синоптических процессов штормов в Азово-Черноморском бассейне // Наук. пр. УкрНДГМИ. – 2009. – Вып. 258 – С. 189-200.
 17. *Овсянников А.Н.* Идентификация стонных колебаний температуры воды // Тр. ГОИН. – 1986. – Вып. 168. – С. 69-81.
 18. *Lionello P.* Introduction to extremes and to indicators for their analysis // Proceedings of the 1st International Summer School “Environment: Climate, Climate change, Imacts” 8-15 July 2009, Athens, Greece.

*Севастопольская ГМО,
Севастопольский национальный технический университет,
Украинский научно-исследовательский
гидрометеорологический институт, Киев*

В.П. Євстігнєєв, В.А. Наумова, М.П. Євстігнєєв, Т.Г. Митник

Аналіз статистичної структури середньодобової температури води за даними морських берегових спостережень Азово-Чорноморського регіону України

Проведено дослідження статистичного розподілу середньодобової температури води за даними 30 берегових пунктів спостереження Азово-Чорноморського узбережжя України за весь період спостережень аж до 2010 р. Виявлено сезонні особливості статистичного розподілу T_w . Виділено три типи акваторій, що розрізняються за термічним режимом, серед яких в один тип було об'єднано райони інтенсивних апвелінгових процесів літнього сезону. Запропоновано на будь-якій окремо взятій станції використовувати як кількісну міру інтенсивності апвелінгів параметр статистичного розподілу - коефіцієнт асиметрії.

Ключові слова: температура води, апвелінг, Азово-Чорноморський регіон, статистичний розподіл.

V.P. Evstigneev, V.A. Naumova, M.P. Evstigneev, T.G. Mytnyk

Analysis of the statistical structure of mean-day water temperature using marine coastal observations in Azov-Black sea region of the Ukraine

The study of statistical distribution of the water temperature (T_w) using data from 30 coastal stations of the Azov-Black sea coast of the Ukraine for the whole period of observations till 2010 was carried out. Seasonal features of the statistical distribution of T_w were determined. Three types of water regions differed by thermal conditions, were identified, one of which was associated with the regions of intense summer upwelling processes. It was suggested to use the parameter of statistical distribution, the coefficient of asymmetry, as a measure of intensity of upwellings on any given station.

Keywords: water temperature, upwelling, Azov-Black sea region, statistical distribution.