

В.Н. Белокопытов, А.В. Багаев

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь***СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРМОХАЛИННЫХ ПОЛЕЙ
ЧЕРНОГО МОРЯ
ПО ДАННЫМ БУЕВ-ПРОФИЛЕМЕРОВ ARGO**

Выполнено исследование пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры верхнего 300-метрового слоя Черного моря с использованием метода разложения по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) по данным буюв-профилемеров *Argo* за период 2002 – 2012 гг. Показано, что около 80 % дисперсии температуры и около 90 % солёности описываются тремя первыми вертикальными модами ЭОФ. Обсуждаются вопросы интерпретации отдельных мод ЭОФ и их связь с гидрологической структурой моря. Высказано предположение о горизонтальной анизотропии процессов формирования холодного промежуточного слоя (ХПС) в Черном море, проявляющееся в том, что изопикническое стекание холодных вод из центральной части моря к периферии происходит в виде отдельных струй.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *термохалинная структура Черного моря, буюв-профилемеры Argo, эмпирические ортогональные функции, холодный промежуточный слой.*

Введение. Функционирующая в настоящее время система автономных буюв-профилемеров *Argo*¹ в Черном море [2] не только обеспечивает поступление данных *in situ*, но и ставит проблему их эффективной ассимиляции в моделях оперативной океанографии. Вместе с накоплением экспериментальной информации о вертикальной термохалинной структуре вод совершенствуются методы усвоения массивов профилей температуры [3] и лагранжевых скоростей [4] в созданной МГИ НАН Украины системе мониторинга гидрофизических полей Черного моря. Имеющая в основе численную гидротермодинамическую модель [5], она работает в квазиоперативном режиме [6]. Параллельно разрабатываются методика верификации и специализированное программное обеспечение для сравнения результатов моделирования с данными, получаемыми с помощью буюв программы *Argo* [7].

Вероятностная природа подлежащих усвоению в модели случайных величин обуславливает необходимость применения статистических методов исследования пространственно-временной изменчивости термохалинной структуры моря. Одним из достаточно эффективных и широко применяемых в океанологии статистических методов является разложение данных наблюдений на эмпирические ортогональные функции (ЭОФ). Оно дает возможность одновременно синтезировать информацию о полях температуры и солёности и при этом значительно снизить размерность ассимиляционной задачи.

Следует отметить, что результаты применения метода ЭОФ будут зависеть от конкретных особенностей его реализации, таких как нормирование,

сглаживание, способ расчета ковариационной матрицы и т.д. Но в первую очередь они будут зависеть от выбора общих положений, в частности: какие ЭОФ будут определяться – горизонтальные или вертикальные, относительно какой нормы (среднего) будут рассчитываться аномалии, служащие основой для расчета. Если в качестве нормы используется общий средний вертикальный профиль, как например в [8], то значительная часть изменчивости будет определяться горизонтальной структурой полей, а отдельные моды можно интерпретировать как проявление конкретных водных масс. Если за норму принимать средний профиль в каждом узле сетки, как например в [9], то влияние средней пространственной структуры минимизируется и определяющей будет временная изменчивость (если сезонный ход отфильтрован, то межгодовая изменчивость).

В данной работе анализируются вертикальные ЭОФ термохалинной структуры верхнего 300-метрового слоя Черного моря относительно средних по морю вертикальных профилей для теплого и холодного сезонов по данным буйе-профилемеров *Argo* за период 2002 – 2012 гг.

Данные наблюдений. В качестве исходных использовались данные о вертикальных распределениях температуры и солёности в верхнем 1500-метровом слое моря, измеренные на 71 горизонте с помощью 9 буйе *Argo* (*APEX*² и *PROVOR*³), оснащенных датчиками *SeaBird SBE-41 CTD*. Технические параметры приборов размещены на <http://www.seabird.com/alace.htm>.

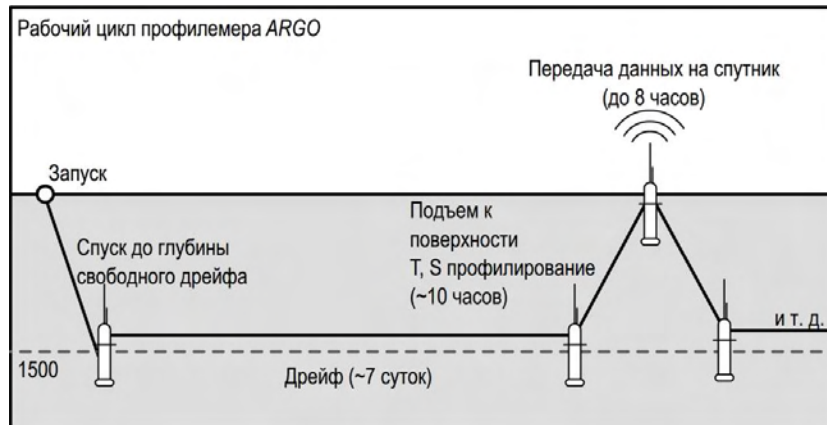


Рис. 1. Рабочий цикл буйе-профилемера *Argo*.

В начале измерительного цикла (см. рис. 1) буй *Argo* в течение примерно недели свободно дрейфует на установленном горизонте. Затем он опускается на фиксированную глубину и всплывает примерно за 10-ти часовой временной интервал, измеряя температуру и солёность на заданных горизонтах, максимальное число которых достигает 80. По достижении морской поверхности буй передает данные через спутниковые системы сбора и передачи информации *Argos*³ (1 – 8 часов) или *Iridium*⁴ (менее часа), установленные на ИСЗ серии *NOAA*. Затем измерительный цикл повторяется. Подробнее с техническими характеристиками приборов можно ознакомиться на сайте <http://www.euro-argo.eu/> или в [10, 11].

Файлы с результатами измерений, прошедшими предварительную обработку и оценку качества, были загружены с серверов Французского исследовательского института по использованию ресурсов моря *IFREMER* (*Institut Français de recherche pour l'exploitation de la mer; French Research Institute for Exploitation of the Sea*. <http://www.ifremer.fr/>). Затем записи из полученного набора прошли фильтрацию по флагам качества (принимались только абсолютно надежные показания приборов), разделение на сезоны (теплый: с июня по ноябрь; холодный: с декабря по май) и перевод в формат, удобный для дальнейшей обработки. Параметр «глубина» был преобразован из децибар в метры глубины согласно формуле ЮНЕСКО [12] для морской воды. Затем была выполнена линейная интерполяция каждого *in situ* профиля на стандартные горизонты (5, 10, 15, 20, 30, ..., 100, 120, 160, 200, 240, 280, 320 м). Подготовленный к анализу массив данных описан в табл. 1. Распределение станций по сезонам и их расположение показано на рис. 2.

Таблица 1. Некоторые характеристики буев *Argo* и анализируемых выборок.

ID буй <i>Argo</i>	Координата начальной точки	Время эксплуатации	Число «зимних» станций	Число «летних» станций	Глубина свободного дрейфа, <i>дбар</i>
			декабрь- май	июнь- ноябрь	
1901200	42,92° с.ш., 28,88° в.д.	08/12/09 – 26/02/12	81	67	200
4900489	41,88° с.ш., 29,58° в.д.	14/03/05 – 18/01/09	64	71	1500
4900540	41,86° с.ш., 29,56° в.д.	14/03/05 – 02/10/08	86	85	1500
4900541	42,13° с.ш., 30,25° в.д.	01/08/06 – 01/03/09	63	64	1500
4900542	42,15° с.ш., 30,26° в.д.	25/07/06 – 23/12/09	77	79	1500
5902291	41,43° с.ш., 29,31° в.д.	16/04/10 – 18/01/11	4	1	1300
6900803	43,34° с.ш., 30,67° в.д.	19/03/11 – 27/02/12	32	31	750
6900804	42,73° с.ш., 30,26° в.д.	18/03/11 – 27/02/12	22	37	750
6900805	42,00° с.ш., 30,02° в.д.	19/03/11 – 28/02/12	31	26	750
Всего			460	461	
			921		

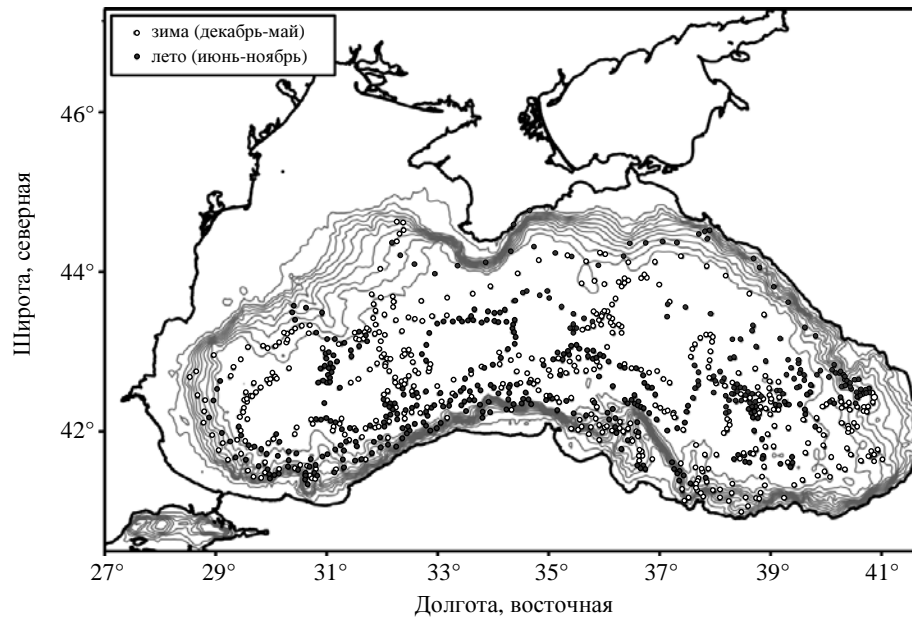


Рис. 2. Расположение станций, выполненных буями-профилемерами *Argo* в Черном море в 2007 – 2012 гг.

Методика расчета. Для обработки данных, статистического анализа и визуализации результатов были разработаны прикладные программы на языке *Python* (<http://www.python.org/>). Это – высокоуровневый язык программирования общего назначения с акцентом на производительность разработчика и читаемость кода. Помимо того, что его стандартная библиотека включает большой объём полезных функций, в свободном доступе находятся специализированные пакеты для математической обработки информации (*SciPy*) и ее представления в графическом виде (*Matplotlib*). Функциональность этих библиотек реализована на языке *C*, что позволяет совместить высокую скорость разработки и кросс-платформенность с достаточной производительностью вычислений.

Была сформирована выборочная матрица данных объект-признак $\{x_j^i\}$, где $i = 1, \dots, N$ – количество объектов, $j = 1, \dots, M$ – количество признаков, характеризующих каждый объект.

В нашем случае N – количество профилей температуры или солёности (460 профилей для зимне-весеннего периода, 461 профиль для летне-осеннего периода), $M = 18$ – число горизонтов.

Для матрицы данных были вычислены следующие числовые характеристики: $\{\bar{x}_j\}$ – вектор средних значений признаков, т.е. средний по выборке профиль температуры и солёности; $\{D_j\}$ – вектор дисперсии значения признаков; $\text{cov}(j', j'')$ – матрица ковариаций признаков. Затем данные центрировались, путем вычитания среднего профиля, и нормировались, делением на $\sqrt{D_j}$. В результате были получены безразмерные массивы данных, для

которых $\bar{x}_j^* = 0$, $D_j^* = 1$. В дальнейшем, для простоты записи, астериск будем опускать. Заметим, что, если центрирование данных является стандартной процедурой, то нормирование в данном случае позволит с помощью нескольких первых мод ЭОФ одинаково хорошо описать изменчивость как в поверхностных слоях, так и на промежуточных горизонтах [9].

В соответствии с [13] собственные векторы ψ_j^k и собственные значения λ_j ковариационной матрицы определяют набор эмпирических ортогональных функций и вклад k -ой моды ЭОФ в полную дисперсию:

$$(\lambda_j / \sum_{k=1}^M \lambda_k) \cdot 100\%.$$

Набор эмпирических ортогональных функций представляет полный ортонормированный базис, по которому можно разложить каждый объект:

$$x_j = \sum_{k=1}^M a_k \psi_j^k,$$

где a_k – амплитуда k -ой моды ЭОФ.

Анализ результатов. По изложенной выше методике были построены ковариационные матрицы температуры и солёности для холодного (декабрь-май) и теплого (июнь-ноябрь) сезонов. В качестве примера на рис. 3 приведена ковариационная матрица для температуры в холодный сезон. В отличие от солёности, ковариации которой положительно определены, значения ковариаций температуры меняют знак. На нем отчетливо видна двухслойная

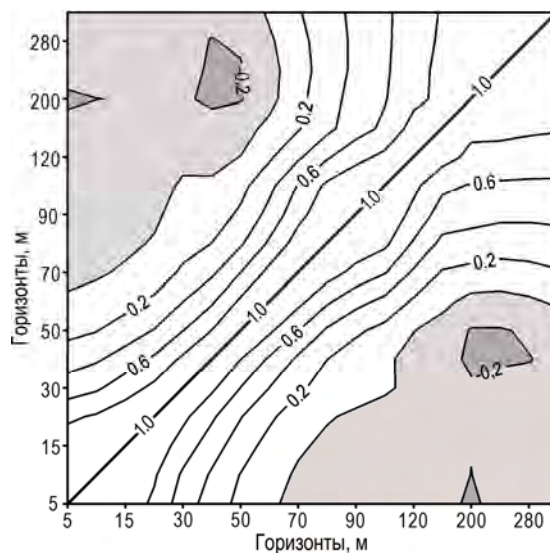


Рис. 3. Ковариационная матрица для температуры (по данным буев *Argo*, интерполированным на 18 горизонтов), зимние станции.

структура выборки, которая, вероятно, свидетельствует о подобном вертикальном расслоении водной толщи. Между горизонтами в верхнем слое 0 – 65 м имеется положительная линейная связь, такая же связь обнаруживается между горизонтами промежуточного слоя от 65 до 300 м. В то же время, между этим двумя слоями обнаруживается слабая отрицательная связь. Ковариационная матрица для температуры в теплый период характеризуется более высокими значениями. При этом описанные выше статистические проявления двухслойности исследуемой толщи воды сохраняются. Ковариационные матрицы для солености свидетельствуют о большей, по сравнению с температурой, линейной связи между горизонтами. Как было отмечено выше, она – строго положительна.

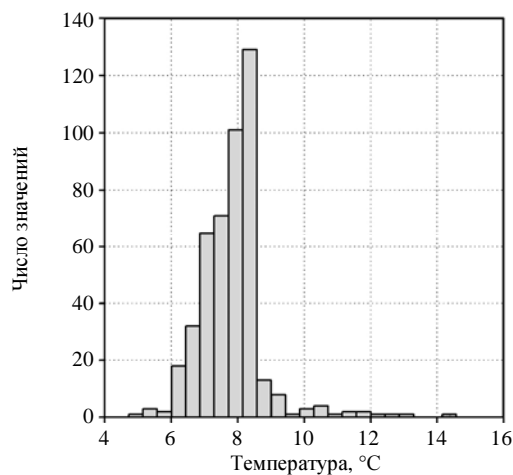


Рис. 4. Гистограмма статистической плотности распределения данных о температуре на глубине 60 м в зимние месяцы.

о нормальности искомых распределений была отвергнута. На рис. 4 в качестве иллюстрации приводится гистограмма для температуры на глубине 60 м в холодный сезон (объем выборки – 460, число разбиений – 23). При явной унимодальности гистограмма обладает отрицательной асимметрией.

Средний по выборке профиль солености (см. рис. 5) соответствует имеющимся представлениям об основных халинообразующих факторах в Черном море [15]: источнике высокосолёных мраморноморских вод на глубинах свыше 200 м и речном стоке, который максимально проявляется на поверхности моря. При этом вертикальное распределение среднеквадратичных отклонений солености характеризуется наличием локального максимума на глубине 100 м. Данный максимум объясняется наличием интенсивных вертикальных движений в основном галоклине, которые связаны с изменчивостью общей циркуляции моря [15].

В табл. 2 приведены значения частного и интегрального вклада мод ЭОФ в полную дисперсию. Отчетливо видно, что значения частных вкладов достаточно резко уменьшаются. В то время как интегральные вклады быстро растут.

В качестве отступления заметим, что если две случайных величины являются статистически независимыми, то их ковариация равна нулю. Обратное утверждение о том, что равенство нулю ковариации свидетельствует о статистической независимости данных случайных величин, вообще говоря, выполняется только при условии нормальности распределений вероятностей этих величин [13]. В связи с этим, с помощью критерия χ^2 [14] нами тестировалась гипотеза о нормальном распределении для температуры и солености на горизонтах 60 и 200 м. С достоверностью 95 % гипотеза

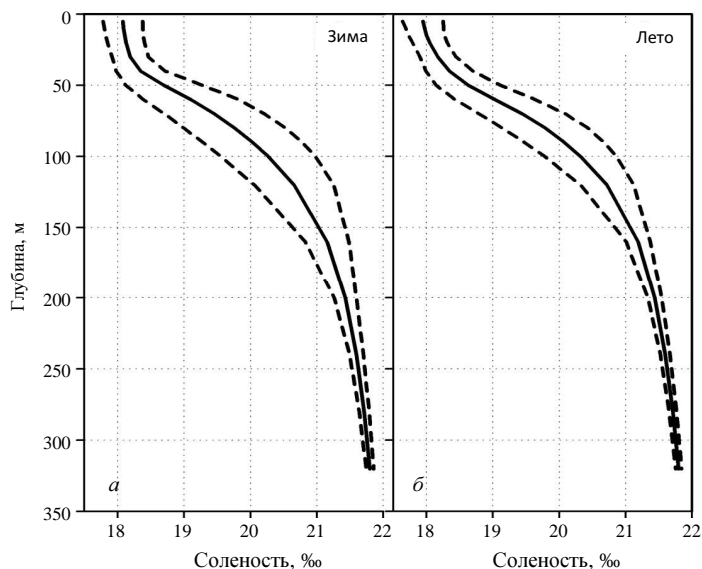


Рис. 5. Средние по всему набору данных вертикальные профили солёности и среднеквадратических отклонений (для двух сезонов): *a* – зима, *б* – лето.

Это свидетельствует о возможности значительного уменьшения степеней свободы в системе с малой потерей информативности выборки. Действительно, статистическая изменчивость поля солёности, как в холодный, так и теплый период, с достаточной точностью описывается тремя пространственно-временными ЭОФ, графики которых представлены на рис. 6 и рис. 7. Для холодного сезона 92 % изменчивости объясняется тремя первыми ЭОФ, для теплого сезона – 94 %.

Необходимо подчеркнуть, что полученное нами разложение по полному ортонормированному базису является результатом линейного преобразования исходной выборки данных, т.е., вообще говоря, формальной статистической процедуры. Поэтому приводимая ниже попытка их физической интерпретации не является однозначной, и требует привлечения априорной гидрологической информации.

Видно, что первые ЭОФ для холодного и теплого полугодий относительно слабо меняются с глубиной. Это соответствует изменчивости типа постоянной аддитивной добавки к среднему профилю. Приведенное на рис. 8 распределение амплитуды для первой моды солёности в зимний период показывает смену знака, чему можно найти вполне разумные объяснения. При интенсификации циркуляции центральная часть моря осолоняется из-за усиления восходящих движений, а периферия – наоборот, распресняется из-за нисходящих движений. Это процесс будет еще более отчетливо выражен, если интенсификация циркуляции будет вызвана не ветром, а повышенным стоком рек, когда дополнительный объем пресной воды распространяется по периферии моря.

Таблица 2. Частный и интегральный вклад мод ЭОФ в полную дисперсию

Номер моды	Частный вклад в дисперсию, %				Интегральный вклад, %			
	Температуры воды		Солености воды		Температуры воды		Солености воды	
	«зима»	«лето»	«зима»	«лето»	«зима»	«лето»	«зима»	«лето»
1	38,76	44,72	66,58	72,75	38,76	44,72	66,58	72,75
2	29,38	18,26	19,73	16,09	68,14	62,98	86,31	88,84
3	16,18	17,05	5,33	4,99	84,32	80,03	91,64	93,83
4	6,51	6,92	3,24	2,26	90,83	86,95	94,88	96,09
5	3,16	3,89	1,67	1,43	93,99	90,84	96,55	97,52
6	1,82	2,87	1,11	0,80	95,81	93,71	97,66	98,32
7	0,03	0,04	0,02	0,01	95,84	93,75	97,68	98,33

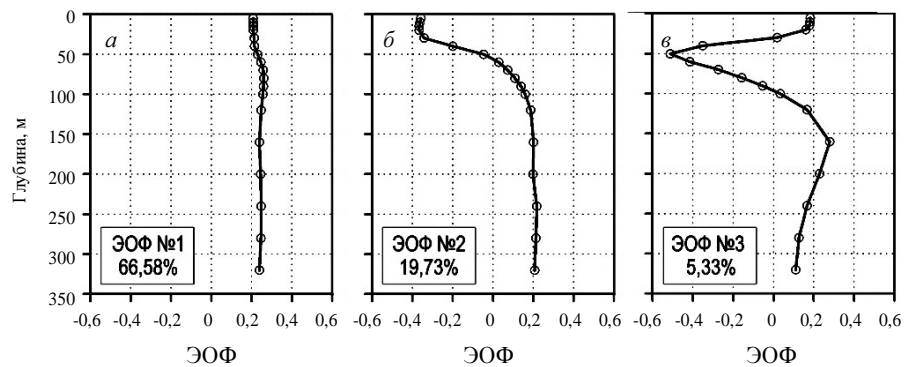


Рис. 6. Первые три ЭОФ для солёности в зимний сезон:
a – ЭОФ №1; *б* – ЭОФ №2; *в* – ЭОФ №3.

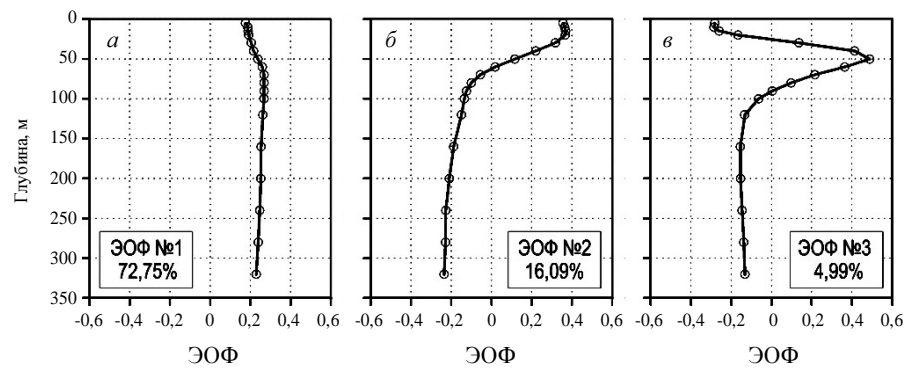


Рис. 7. Первые три ЭОФ для солёности в летний сезон:
a – ЭОФ №1; *б* – ЭОФ №2; *в* – ЭОФ №3.

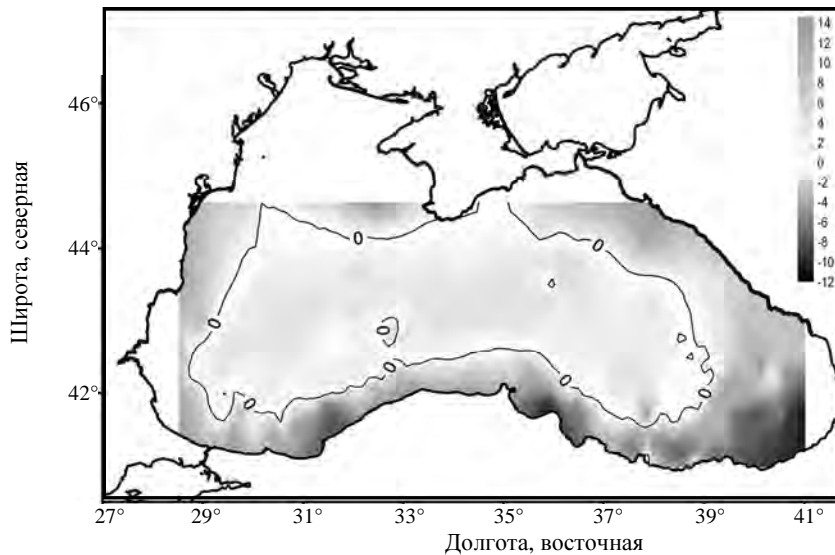


Рис. 8. Пространственное распределение амплитуды для 1-й ЭОФ солености в зимние месяцы. Сплошной линией в поле рисунка нанесена нулевая изолиния ЭОФ.

Вторую моду ЭОФ солености, вероятнее всего, можно связать с вертикальными движениями галоклина, т.к. структура колебаний здесь двухслойна, а смена знака приходится на верхнюю границу галоклина. Третья ЭОФ не обнаруживает очевидной связи с известными физическими механизмами формирования вертикального профиля солености.

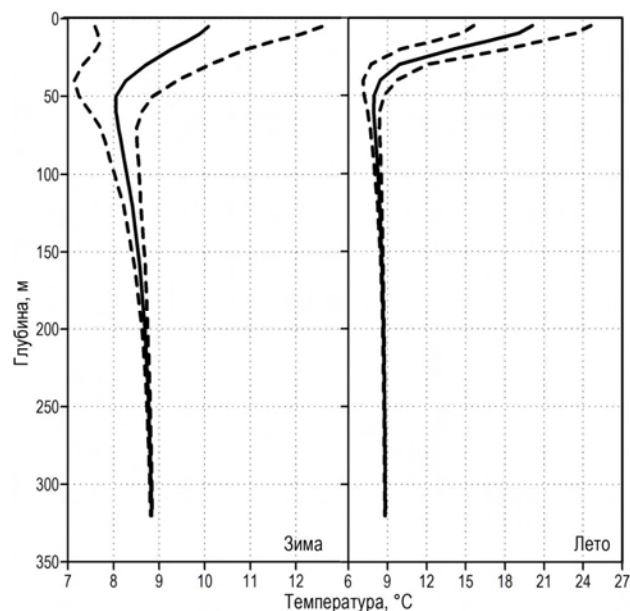


Рис. 9. Средние по всему набору данных вертикальные профили температуры и среднеквадратических отклонений (для двух сезонов).

Средний по выборке профиль температуры (рис. 9) практически не отличается от такового, полученного на историческом массиве океанографических данных [15].

Вертикальная структура профиля включает верхний конвективный слой (5 – 130 м); сезонный термоклин с максимумом вертикального градиента на глубине от 15 до 20 м в летний период; ХПС с глубиной залегания минимума от 30 до

100 м; а также постоянный термоклин в слое 50 – 100 м. Значения среднеквадратических отклонений монотонно уменьшаются с глубиной. Для описания 84 % пространственно-временной изменчивости профилей температуры в холодный период и 80 % – в теплый достаточно трех эмпирических ортогональных функций (см. рис. 10 и рис. 11).

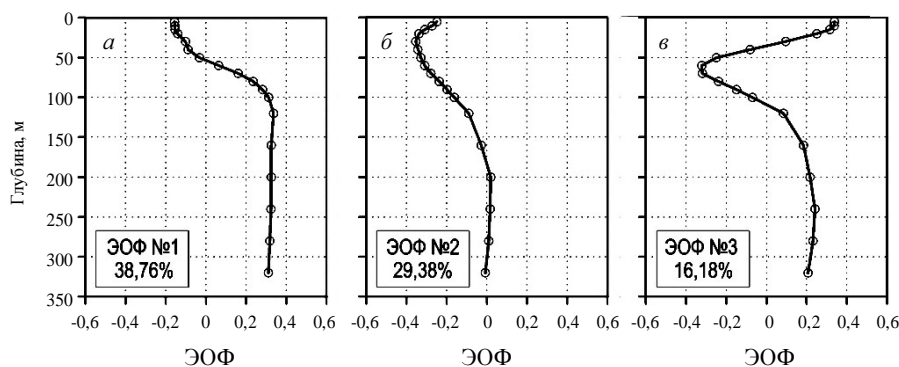


Рис. 10. Первые три ЭОФ для температуры в летний сезон:
a – ЭОФ №1; *b* – ЭОФ №2; *c* – ЭОФ №3.

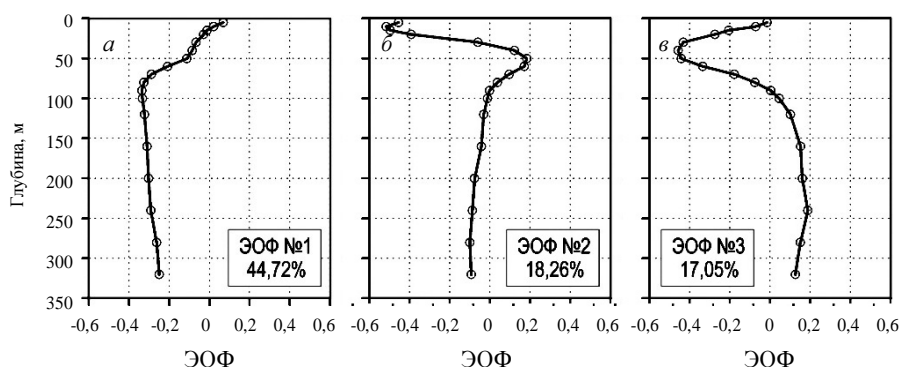


Рис. 11. Первые три ЭОФ для температуры в зимний сезон:
a – ЭОФ №1; *b* – ЭОФ №2; *c* – ЭОФ №3.

В холодный период пространственное распределение 1-й моды температуры (см. рис. 12) имеет очевидное сходство с аналогичным распределением для солёности (см. рис. 8). Смена знака амплитуды в обоих случаях связана с зоной ОЧТ. Для слоя основного пикноклина такое распределение связано с системой вертикальных движений – восходящих в центре моря и нисходящих на периферии, для поверхностного слоя – с распространением холодных шельфовых вод вдоль побережья. Вторая мода температуры, как для холодного, так и для теплого сезона отражает изменчивость сезонного термоклина и ХПС. При этом на картах амплитуд регулярные структуры не обнаруживаются. Третья мода в зимний период, по всей видимости, описывает формирование ХПС, так как ее максимум находится в области этого слоя (см. рис. 13). Однако, ее также можно связать и с пикноклином, т.к. максимум градиента плотности располагается сразу под ХПС, являясь границей между ХПС и пикноклином. В пользу этого может свидетельствовать и аналогичная по форме профиля 3-я мода солёности, которую трудно свя-

зять с формированием ХПС, т.к. изменчивость солености там невелика, а в пикноклине, наоборот, значительна.

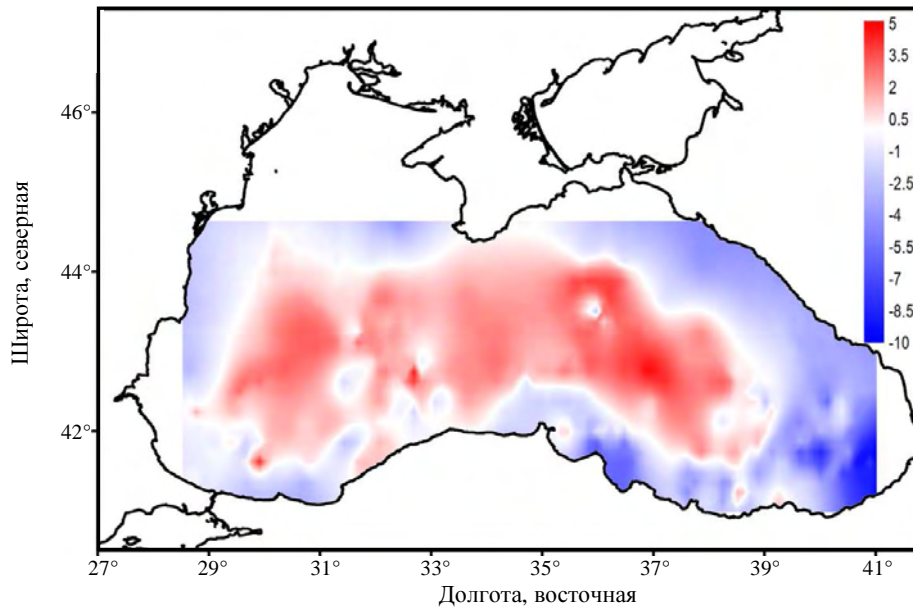


Рис. 12. Пространственное распределение амплитуды для 1-й ЭОФ температуры в зимние месяцы.

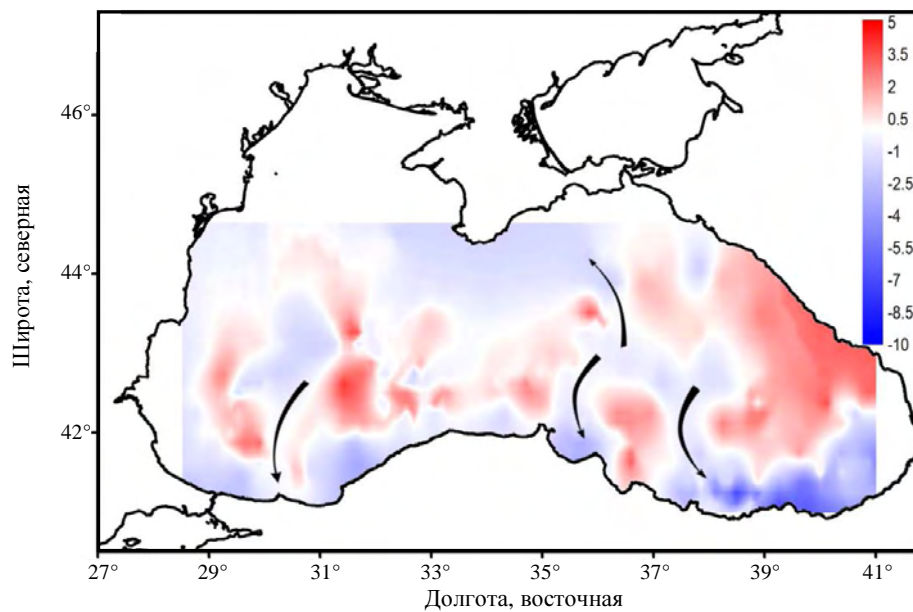


Рис. 13. Пространственное распределение амплитуды для 3-й ЭОФ температуры в зимние месяцы. Стрелками отмечены предполагаемые пути перемещения вод из центров халистаз на периферию циклонических круговоротов.

Пространственное распределение амплитуды 1-й моды температуры в холодный период также можно трактовать и как иллюстрацию двойственности механизма обновления ХПС, сочетающего «адвекционную» составляющую [16] и гипотезу И.М. Овчинникова, Ю.И. Попова [0] о зарождении ХПС в центрах циклонических круговоротов. В теплый период 1-я мода, скорее всего, представляет собой суперпозицию изменчивости сезонного и основного термоклина. Поэтому карта распределения ее амплитуды теряет свою связь с положением главной струи ОЧТ, которое является фронтальной зоной между прибрежными, распресненными водами и центральной частью моря, препятствуя их быстрому перемешиванию. Третья мода, описывающая эволюцию ХПС в теплый сезон, напротив, демонстрирует связь своей амплитуды с этим важнейшим элементом циркуляции моря, подтверждая «чисто адвекционный» механизм транспорта ХПС в летний период.

Как замечено в [8], не всем модам ЭОФ удастся найти однозначную физическую трактовку. Тем не менее, анализ горизонтального распределения амплитуды третьей моды ЭОФ для температуры в холодный сезон дает основание для предположения о существовании некоторых пространственных особенностей в процессе формирования ХПС, детализирующих идею И.М. Овчинникова, Ю.И. Попова [0]. А именно, растекание холодных, обновленных вод ХПС из центров халистаз по куполу пикноклина, по видимому, происходит анизотропно. Как видно на рис. 13, возможно образование достаточно узких радиальных фронтальных зон – своеобразных каналов, по которым происходит изопикническое растекание холодных вод в виде отдельных струй. В западной части моря выделен один «канал», в восточной – три, которые показаны на рис. 13 стрелками. Конечно, для такого рода гипотез можно найти множество возражений. Во-первых, связь 3-й вертикальной моды температуры с формированием ХПС не так уж очевидна, о чем говорилось выше. Во-вторых, период работы буев-профилемеров *Argo* в Черном море приходится на годы, в основном, слабого обновления ХПС. И, наконец, такого рода «пятнистость» распределения амплитуд ЭОФ можно отнести за счет синоптических и мезомасштабных «шумов», особенно при малом количестве данных. Тем не менее, подобные явления вполне могут возникать в процессе обновления ХПС, хотя бы по аналогии с поверхностным слоем, где многочисленные струи, филаменты, грибовидные структуры очень часто фиксируются на спутниковых изображениях.

Заключение. В целях развития оперативной системы мониторинга Черного моря в работе выполнен статистический анализ пространственно-временной изменчивости термохалинных полей верхнего 300-метрового слоя Черного моря методом ЭОФ-декомпозиции данных буев-профилемеров *Argo* за период 2002 – 2012 гг.

Анализ результатов ЭОФ-декомпозиции показал, что около 80% дисперсии температуры и около 90% – солёности описываются первыми тремя модами. Они отражают изменчивость верхнего квазиоднородного слоя, сезонного термоклина, ХПС, а также вертикальные движения в основном галоклине.

Интерпретация пространственного распределения амплитуды третьей моды ЭОФ для температуры в холодный сезон привела к предположению о

горизонтальной анизотропии в генезисе ХПС, когда возможно образование узких радиальных фронтальных зон – своеобразных каналов, по которым происходит изопикническое растекание холодных вод. Данная гипотеза требует дальнейшего экспериментального и теоретического исследования.

ПРИМЕЧАНИЯ:

¹ Название программы не является аббревиатурой. Она названа именем мифического судна «Арго», которое мифические герои Древней Греции Ясон и аргонавты использовали при поисках золотого руна.

² Буй *APEX (Autonomous Profiling EXplorer)* – автономный профилирующий аппарат изготавливаются фирмой *WEBB* (США) в небольших количествах. Оснащены щелочными аккумуляторами, не имеющими ограничений по транспортировке.

³ Буй *PROVOR* (профилирующий буй, основанный на технологии *MARVOR*), изготавливаются фирмой *MARTEC* (Франция). Оснащены литиевыми аккумуляторами, ограничивающими возможность перевозки авиационным транспортом. Более сложны при запуске в сравнении с буями *APEX*.

³ *Argos* – название спутниковой системы определения местоположения подвижных объектов и передачи данных. Не является аббревиатурой.

⁴ *Iridium* – телефонная сеть мобильной персональной связи, работающая на низкоорбитальных спутниках и разработанная для предоставления набора стандартных телефонных услуг – голосовая связь, передача факсимильных сообщений и компьютерных данных. Название происходит от имени химического элемента Иридий, поскольку изначально планировалось, что в системе будет работать 77 космических аппаратов (КА) – столько, сколько электронов обращается вокруг ядра Иридия. В настоящее время орбитальная группировка *Iridium* насчитывает 66 КА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Овчинников И.М., Попов Ю.И.* Формирование холодного промежуточного слоя в Черном море // *Океанология*. – 1987. – Том 27, № 5. – С.739-746.
2. *Stefanov A., Palazov A., Slabakova V.* WEB publishing of ARGO float data from the Black Sea // Drivers, pressures, state, impacts, response and recovery indicators towards better governance of the Black Sea environmental protection. Abstracts of 3-rd bi-annual BS Scientific Conference and UP-GRADE BS-SCENE Project joint conference. – Odessa: Ukrainian scientific centre of the ecology of sea, 2011 – P. 108.
3. *Мизюк А.И., Кныш В.В., Коротаев Г.К.* Методика восстановления гидрофизических полей Черного моря в период 2007 – 2008 гг. на основе ассимиляции в модели данных измерений буев-профилемеров // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. (Оперативная океанография)*. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2011. – Вып. 24. – С. 38-53.
4. *Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К.* Валидация результатов моделирования циркуляции Черного моря на основе данных всплывающих буев // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. (Дистанционное зондирование морских экосистем)*. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – Вып. 11. – С. 63-74.
5. *Демьшев С.Г., Коротаев Г.К.* Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неравным дном на сетке C // *Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане*. – М.: ИВМ РАН. – 1992. – С. 163-231.
6. *Дорофеев В.Л., Коротаев Г.К., Мартынов М.В. и др.* Система мониторинга гидрофизических полей Черного моря в квазиоперативном режиме // *Экологи-*

- ческая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. (Дистанционное зондирование морских экосистем). – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2004. – Вып. 11. – С. 9-21.
7. Багаев А.В., Демьшев С.Г., Коротаев Г.К. и др. Сопоставление результатов моделирования термохалинных полей Черного моря с данными буев-профилемеров ARGO // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. (Оперативная океанография). – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика». – 2011. – Вып. 24. – С. 78-90.
 8. Fukumori I., Wunsch C. Efficient representation of the North Atlantic hydrographic and chemical distributions // Prog. Oceanogr. – 1991. – Vol. 27, № 1-2. – P. 111-195.
 9. Sparnocchia S., Pinardi N., Demirov E. Multivariate Empirical Orthogonal Function analysis of the upper thermocline structure of the Mediterranean Sea from observations and model simulations // Annales Geophysicae. – 2003. – Vol. 21, № 1. – P. 167-187.
 10. Коротаев Г.К., Еремеев В.Н. Введение в оперативную океанографию Черного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. – 382 с.
 11. Poulain P.-M., Barbanti R., Font J. et al. MedArgo: a drifting profiler program in the Mediterranean Sea // Ocean Sci. – 2007. – № 3. – P. 379-395.
 12. UNESCO. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO technical papers in marine science. – 1983. – Vol. 44. – P. 1-55.
 13. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. – М: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
 14. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.
 15. Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – 209 с.
 16. Филлипов Д.М. Циркуляция и структура вод Черного моря. – М.: Наука, 1968. – 136 с.

Материал поступил в редакцию 25.10.2012 г.

АНОТАЦІЯ Виконано дослідження просторово-часової мінливості термохалінної структури верхнього 300-метрового шару Чорного моря з використанням методу розкладання по емпіричним ортогональних функціях (ЕОФ) за даними буїв-профилемерів *Argo* за період 2002 – 2012 рр. Показано, що близько 80 % дисперсії температури і близько 90 % солоності описуються трьома першими вертикальними модами ЕОФ. Обговорюються питання інтерпретації окремих мод ЕОФ та їх зв'язок з гідрологічною структурою моря. Висловлено припущення про горизонтальної анізотропії процесів формування холодного проміжного шару (ХПШ) в Чорному морі, що виявляється в тому, що ізопікнічне стікання холодних вод з центральної частини моря до периферії відбувається у вигляді окремих струменів.

ABSTRACT The spatial and temporal variability of the thermal and saline structure of the upper 300-m layer of the Black Sea is provided with the empirical orthogonal functions (EOF), according to Argo floats data for the period 2002 – 2012. It is shown that about 80 % of the temperature and salinity variance of about 90 % are described by the first three vertical modes EOF. The interpretation of the individual modes and their relation to hydrological structure of the sea are proposed. Horizontal anisotropy of the cold intermediate layer formation (CIL) in the Black Sea is suggested, which manifests itself in the fact that the cold water isopycnic descent from the central part of the sea to the periphery is in the form of individual jets.