

СВЯЗИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОД ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Б.Н. Панов

Южный НИИ морского рыбного
хозяйства и океанографии
г. Керчь, ул. Свердлова, 2
E-mail: panov_bn@mail.ru

Для станций 21 полигонной съемки в юго-восточной части Черного моря определен ряд океанографических характеристик. Выполнена оценка тесноты связей между ними. Рассмотрены некоторые особенности их распределения. Предлагается использовать сочетания высоких и низких значений максимального градиента солёности и глубины его залегания в качестве косвенных показателей циркуляции вод в экосистемных исследованиях.

Введение. Измеренные или вычисленные океанографические характеристики, описывающие состояние водных масс и морских экосистем имеют пространственно-временное распределение. Именно в этих четырех измерениях принято анализировать происходящие изменения.

Однако биологические процессы зависят не от времени и места событий, а от физических и химических процессов в окружающей среде.

Представляется интересным изменить подход к анализу изменчивости биологических характеристик морских экосистем, рассматривая их в координатах тех процессов (течения, освещенность, солёность, температура и др.), на фоне которых они происходят.

Ключевым процессом формирования биопродуктивности морских акваторий являются течения [1–12]. Инструментальные их определения дороги и трудоемки, модельные – значительно обобщены. Во многих районах Мирового океана, в том числе и в Черном море для экологических исследований влияния циркуляции вод могут использоваться косвенные океанографические показатели. Их адекватность может быть оценена по материалам полигонных исследований, позволяющих вы-

делять зоны с различным характером циркуляции.

Материалы. В нашем случае использованы материалы 21 полигона, которые были выполнены в экспедициях ЮгНИРО в юго-восточной части Черного моря с 1983 по 1992 годы. Информация о полигонах дана в таблице 1.

Методы и результаты. Для каждой станции полигона определялся ряд характеристик. Динамические высоты рассчитывались по стандартной методике. Коэффициенты корреляции (r) и уровень доверительной вероятности (P) наличия связи между динамической высотой на поверхности и:

T_0 – температурой воды на поверхности;

$TЗ$ – теплозапасом верхнего квазиоднородного слоя;

$h_{ХПС}$ – толщиной холодного промежуточного слоя (ХПС – глубинный слой воды с температурой менее 8°C);

$XЗ$ – «холодозапасом» в ХПС = $(8 - T_{\text{мин}} \text{ в ХПС}) \times h_{\text{ХПС}}$;

S_{50} – солёностью воды на горизонте 50 м;

J_s – максимальным вертикальным градиентом солёности;

H_s – глубиной залегания максимального градиента солёности представлены в таблице 2 и наглядно показывают очень тесную связь (в 18 съемках из 21 $r = -0,40 - -0,91$ при $P \leq 0,01$) динамических высот и значений солёности воды на горизонте 50 м. Это естественно для водных масс Черного моря и неоднократно отмечалось в ряде работ [13–17]. Еще более тесная связь (в 18 съемках из 21 $r = 0,60 - 0,93$ при $P=0,00$) обнаружена между динамической высотой и глубиной залегания максимального градиента солёности. Это означает, что в зонах опускания вод галоклин лежит глубже.

Хуже связаны изменения динамических высот и максимального градиента солёности (степень развития галоклина). Статистически достоверная связь этих показателей получена по материалам 12 съемок из 21 ($r = -0,27 - -0,72$ при $P \leq 0,04$).

Соответственно, в 15 и в 12 съемках из 21 получена достоверная ($r = 0,46 - 0,93$ при $P = 0,00$) статистическая связь динамической высоты с мощностью ХПС и величиной «холодозапаса» в нем. Это означает, что основная масса вод ХПС концентрируется в зонах опусканий.

Таблица 1 – Информация о полигонах, выполненных ЮгНИРО в юго-восточной части Черного моря

Год	Месяц	Кол-во станций	Продолж. работ, (сут.)	Макс. глубина наблюден., (м)	Примечание	
1983	март	53	10	500	ДО ВВЕДЕНИЯ ЭКОНОМ. ЗОНЫ	
	май	47	10	500		
	август	51	6	500		
	декабрь	44	6	500		
1984	август	49	9	500		
1985	февраль	38	6	500		
	май	42	7	500		
	август	45	7	500		
1986	март	51	8	300		
	май	38	5	300		
	август	47	7	300		
	декабрь	55	6	300		
1987	март	44	6	300		В ЭКОНОМ. ЗОНЕ СССР
	май	40	8	300		
	август	33	4	300		
1988	август	43	6	300		
	октябрь	30	4	300		
1989	март	38	5	300		
	декабрь	44	7	300		
1990	ноябрь	38	5	200		
1992	январь	37	5	300		

В 10 и 12 съемках из 21 динамическая высота достоверно связана ($r = 0,33 - 0,94$ при $P \leq 0,02$), соответственно, с температурой поверхности моря и теплозапасом поверхностного квазиоднородного слоя в сезоны, когда этот слой достаточно развит.

Таким образом, обработка материалов 21 полигонной съемки в юго-восточной части Черного моря с разной степенью достоверности показала, что в зонах опускания вод (высокие значения D) наблюдается пониженная соленость на горизонте 50 м, увеличивается глубина залегания галоклина (H_s), уменьшается градиент солености в нем (J_s), накапливаются воды ХПС, в верхнем квазиоднородном слое концентрируются

более теплые воды. Зоны подъема вод (низкие значения D) характеризуются обратными тенденциями перечисленных характеристик.

Из рассмотренных показателей с характером геострофической циркуляции вод в наибольшей степени связаны характеристики галоклина. Именно эти показатели могут быть использованы для определения типа и интенсивности развития вертикальных движений и завихренности вод в исследованиях изменчивости состояния черноморской экосистемы.

Однако существует некоторая неоднозначность линейной связи динамических высот и величины максимального градиен-

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (r) и уровень доверительной вероятности связи (P) динамической высоты и некоторых океанографических показателей на полигонах в юго-восточной части Черного моря

Дата	T_0		T_3		$h_{\text{хпс}}$		X_3		S_{50}		J_s		H_s	
	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P	r	P
Март 1983 г.	0,34	0,01	0,94	0,00	0,74	0,00	-0,17	0,22	-0,74	0,00	-0,50	0,00	0,93	0,00
Май 1983 г.	0,21	0,15	-0,15	0,31	0,89	0,00	0,54	0,00	-0,71	0,00	-0,64	0,00	0,92	0,00
Август 1983 г.	-0,68	0,00	-0,14	0,37	0,75	0,00	0,67	0,00	-0,84	0,00	-0,64	0,00	0,83	0,00
Декабрь 1983 г.	0,56	0,00	0,29	0,07	0,69	0,00	0,55	0,00	-0,71	0,00	-0,65	0,00	0,79	0,00
Август 1984 г.	0,22	0,14	0,43	0,00	0,57	0,00	0,63	0,00	-0,79	0,00	0,01	0,93	0,86	0,00
Февраль 1985 г.	0,64	0,00	0,44	0,02	-0,12	0,63	-0,50	0,04	-0,86	0,00	-0,25	0,22	0,66	0,00
Май 1985 г.	0,24	0,18	0,05	0,78	0,30	0,09	0,26	0,15	-0,21	0,26	-0,18	0,33	0,31	0,08
Август 1985 г.	0,23	0,14	0,04	0,79	0,25	0,11	0,25	0,11	-0,40	0,01	-0,02	0,91	0,68	0,00
Ноябрь 1985 г.	0,03	0,84	0,33	0,02	0,75	0,00	0,75	0,00	-0,63	0,00	-0,47	0,00	0,83	0,00
Март 1986 г.	0,69	0,00	0,43	0,00	0,46	0,00	0,60	0,00	-0,76	0,00	-0,67	0,00	0,21	0,19
Май 1986 г.	0,52	0,00	-0,21	0,20	0,84	0,00	0,56	0,00	-0,89	0,00	-0,72	0,00	0,79	0,00
Август 1986 г.	-0,08	0,59	0,34	0,02	0,57	0,00	0,51	0,00	-0,61	0,00	-0,54	0,00	0,64	0,00
Декабрь 1986 г.	0,62	0,00	0,77	0,00	0,60	0,00	0,52	0,00	-0,84	0,00	-0,27	0,04	0,82	0,00
Март 1987 г.	-0,03	0,86	0,35	0,02	0,86	0,00	0,09	0,61	-0,89	0,00	-0,55	0,00	0,86	0,00
Май 1987 г.	-0,02	0,90	-0,19	0,20	0,82	0,00	0,80	0,00	-0,72	0,00	-0,60	0,00	0,90	0,00
Сентябрь 1987 г.	0,48	0,01	0,33	0,06	0,72	0,00	0,71	0,00	0,10	0,60	-0,30	0,10	0,68	0,00
Октябрь 1988 г.	0,43	0,02	0,53	0,00	-0,18	0,35	-0,25	0,20	-0,74	0,00	-0,04	0,84	0,60	0,00
Февраль 1989 г.	0,62	0,00	0,81	0,00	0,93	0,00	0,32	0,12	-0,85	0,00	-0,14	0,52	0,77	0,00
Октябрь 1989 г.	-0,29	0,08	-0,25	0,15	-0,04	0,79	-0,11	0,52	0,25	0,14	0,01	0,94	-0,26	0,13
Ноябрь 1990 г.	0,90	0,00	0,64	0,00	0,71	0,00	0,62	0,00	-0,91	0,00	-0,51	0,00	0,71	0,00
Январь 1992 г.	0,26	0,15	0,43	0,01	0,18	0,35	-0,05	0,80	-0,70	0,00	0,38	0,03	0,87	0,00

та солёности (J_s) Эта неоднозначность была исследована с помощью коллигационной функции [18]. Этот метод удобен при изучении не строго детерминированных связей и позволяет определить неслучайность совпадений интервальных значений динамических высот (D) и J_s .

Коэффициент коллигации (K) изменяется от -1 до $+1$. Когда появление, к примеру, X_i полностью определяется Y_j (i, j – номера интервалов соответствующих параметров) – $K = +1$, в случае, когда события совершенно не зависимы друг от друга – $K = 0$, а в слу-

чае, когда X_i полностью исключает появление Y_j – $K = -1$.

Оценка связей была выполнена для 21 съёмки. В 16 случаях с различной степенью достоверности получен результат, аналогичный результату корреляционного анализа. Более высоким значениям динамических высот в съёмках соответствуют относительно низкие значения максимальных градиентов солёности, и наоборот. Типичная матрица распределения коэффициентов коллигации для этих случаев представлена в таблице 3.

В съемках, где корреляцией не определяется статистически достоверная связь между D и Js коллигационный анализ указывает на неслучайную связь низких значений динамических высот и значений гради-

ентов солёности среднего интервала, а также – значений среднего интервала динамических высот и наибольших значений градиентов солёности. Пример такого распределения связей представлен в таблице 4.

Таблица 3 – Результаты коллигационного анализа связи динамических высот (D) и максимального градиента солёности (Js) на станциях съемки в юго-восточной части Черного моря в мае 1986 года

Интервалы D \ Интервалы Js	0.014 - 0.028	0.028 - 0.041	0.041 - 0.054
25272 – 25355	0.000	-0.393	0.634
25355 – 25438	0.000	0.534	-0.268
25438 - 25521	1.000	0.068	0.000

Таблица 4 – Результаты коллигационного анализа связи динамических высот (D) и максимального градиента солёности (Js) на станциях съемки в юго-восточной части Черного моря в январе 1992 года

Интервалы D \ Интервалы Js	0.021 – 0.030	0.030 – 0.039	0.039 – 0.049
25244 – 25318	0.000	1.000	0.000
25318 – 25392	-0.033	-0.237	0.618
25392 - 25467	0.310	0.033	-0.517

Это означает, что в зонах подъема вод могут неслучайно встречаться средние значения максимальных вертикальных градиентов солёности, а в зонах опускания – высокие значения максимальных градиентов солёности.

Ни в одной из съемок не появилась достоверная связь низких градиентов солёности и низких значений динамических высот.

Для вертикальной плотностной структуры вод Черного моря и предполагаемых связей с геострофической циркуляцией наиболее интересны распределения высоких и низких значений Hs и Js как показателей зон подъема и опускания вод.

Из выполненного анализа следует, что идентифицировать зоны геострофической циркуляции вод можно используя одновременно обе характеристики галоклина Hs и Js, сочетания высоких (HsB, JsB) и низких (HsH, JsH) значений этих показателей:

- HsB JsB - глубокое положение обостренного галоклина (далее ВВ);
- HsH JsB - высокое положение обостренного галоклина (далее НВ);

- HsB JsH - глубокое положение размытого галоклина (далее ВН).

Четвертая возможная группировка – HsH JsH – высокое положение размытого галоклина представляется нам мало вероятным природным явлением.

Согласно классическим представлениям о вертикальной плотностной структуре вод Черного моря группировка ВВ соответствует зонам неглубоких антициклонических вихрей и слабых прибрежных опусканий, НВ – зонам циклонических круговоротов и прибрежных апвеллингов, а ВН – глубоким антициклонам и прибрежным опусканиям.

Заключение. Определение взаимосвязей характеристик галоклина и геострофической циркуляции вод позволяет выйти в оценках циркуляции за рамки материалов полигонных наблюдений. Архив океанографических станций на разрезах, отдельных и повторяющихся наблюдений в Черном море в несколько раз больше объема полигонных исследований. Их привлечение

при соблюдении необходимых условий статистически достоверного определения высоких и низких значений H_s и J_s в рамках допустимых временных интервалов позволит сформировать многолетние или сезонные ряды осредненных по районам характеристик галоклина (как показателей циркуляции), которые в дальнейшем будут использованы для определения закономерностей их многолетней изменчивости, а также исследованы на тесноту связи с обобщенными для района биологическими и рыбопромысловыми показателями.

Все это позволит по-новому подойти к прогнозированию био- и рыбопродуктивности вод моря с учетом изменения размеров и интенсивности различного рода перемещающихся гидродинамических образований.

Л и т е р а т у р а

1. Р. Бивертон, С. Холт. Динамика численности промысловых рыб. – М., 1969. – 248 с.

2. Л.Н. Бочаров. Системный анализ в краткосрочном рыбопромысловом прогнозировании. – Л.: Наука. 1990. – 207 с.

3. М.Е. Виноградов, А.А. Елизаров, П.А. Моисеев. Биологическая продуктивность динамически активных зон открытого океана // Исследования океана (II съезд советских океанологов). – М.: Наука, 1984. – С. 107–127.

4. Ю.Л. Дёмин, А.А. Елизаров, А.Д. Щербинин. Океанографические условия, определяющие пространственную неравномерность биопродуктивности вод на примере Атлантического океана // Океанографические исследования промысловых районов Мирового океана. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – С. 27–49.

5. Т. Левасту, И. Хела. Промысловая океанография. – Л., 1974. – 295 с.

6. Б.Н. Панов. Влияние циркуляции вод на урожайность хамсы в западной части Черного моря // Океанология, 1998, т. 38, № 2. – С. 236–243.

7. Б.Н. Панов, Е.О. Спиридонова. Гидрометеорологические предпосылки формирования промысловых скоплений и миграций черноморской хамсы в юго-восточной части Черного моря // Океанология, 1998, т. 38, № 4. – С. 573–584.

8. Б.Н. Панов, А.К. Чашин. Особенности динамической структуры вод в юго-восточной части Чёрного моря как предпосылки формирования зимовальных скоплений хамсы кавказского побережья // Океанология. 1990. т. 30. вып. 2. – С. 328–334.

9. В.Н. Яковлев. Гидрометеорологическое обеспечение океанического рыболовства. – М., 1976. – 230 с.

10. T.R. Parsons, M. Takahashi, B. Hargrave. Biological oceanographic processes // Pergamon Press. 1977. – 332 p.

11. G.D. Sharp et all. Modelling fisheries. – What was the question? // FAO. Fisheries. Vol. 3. N 291. 1983. – P. 1173–1217.

12. В. Панов, В. Тротсенко, Т. Бурленко. Dynamically active zones of the world ocean and fish abundance. Fish GIS 1st International Symposium Sietle, March 1999. – P. 386–391.

13. Е.В. Барышевская. Соленость как показатель динамики вод поверхностного 300-метрового слоя Черного моря // Сб. работ БГМО ЧАМ. Вып.4. – Л., 1966. – С. 20–33.

14. А.С. Блатов, Н.П. Булгаков, В.А. Иванов и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л.: Гидрометеоиздат. 1984. – 238 с.

15. А.С. Кукушкин, В.Ф. Сытников. Горизонтальная структура полей температуры, солёности и течений в поверхностном слое Черного моря // Современные проблемы океанологии Черного моря. Ч. 1. МГИ АН УССР. – Севастополь. 1986. – С. 130–150. Деп. в ВИНТИ. № 1579-B86.

16. Д.М. Филиппов. Циркуляция и структура вод Черного моря. – М.: Наука, 1968. – 136 с.

17. В.С. Латун. Структура поля плотности и циркуляция вод в глубоком черноморском антициклоне // Гидрофизические и гидрохимические исследования Черного моря. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1992. – С. 92–94.

18. С.М. Ворончук. Коллигационная функция и возможности ее использования при анализе и прогнозе пространственных изменений погоды и климата // Применение статистических методов в метеорологии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – С. 43–48.