

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЗВУЧИВАНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ВОД ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

**О.Р. Андрианова, М.И. Скипа**

*Отделение гидроакустики Морского гидрофизического института НАН Украины*

Почтовый адрес: 65026, Одесса, ул. Преображенская, 3

Телефон: (8-482) 23-20-13

Факс: (8-482) 23-35-32

E-mail: [acoustics@paco.net](mailto:acoustics@paco.net)

Акустическое прозвучивание относится к наиболее перспективным методам дистанционного контроля морской среды по техническому использованию и экономической доступности в современных условиях. Использование подводного звукового канала (ПЗК) позволяет дистанционно получать оценки характеристик динамики водных масс [1], однако возникают вопросы применимости этого метода и возможности интерпретации его результатов относительно реальных условий. Исходя из этого, в предлагаемой работе проводился анализ гидрофизической структуры вод, ее временной изменчивости с целью определения применимости акустического прозвучивания в западной части Черного моря. К числу основных климатических факторов, оказывающих влияние на формирование структуры вод западной части Черного моря относятся суровость зим и водность рек [2]. Определяющий вклад в формирование звуковых полей в Черном море оказывает температура воды - ось ПЗК в Черном море, как правило, совпадает с глубиной залегания минимальной температурой воды [3]. Используя имеющиеся у нас гидрофизические данные по западной части Черного моря была проанализирована структура вод и ее сезонная изменчивость для двух годов: 1987, когда зимняя температура была ниже среднемноголетней, т.е. зима была холодной, и 1989, когда зима была теплой на основе карт пространственного распределения гидрофизических характеристик на различных горизонтах (0 м, 50 м и глубины залегания минимальной температуры воды) для всех сезонов за эти два года, а также графиков вертикального распределения термohалинных характеристик и скорости звука на меридиональном разрезе по  $31^{\circ}00'$  в.д., который охватывает как северо-западный шельф (материковую отмель), так и материковый склон Черного моря. В результате установлены следующие характерные закономерности: повсеместное совпадение глубины залегания минимальной температуры воды и оси ПЗК; наличие зоны квазистационарных антициклонических вихрей в районе материкового склона; увеличение градиентов солености воды от северо-западного побережья моря к центру моря в период паводков на реках; отсутствие ПЗК на шельфе в осенний период. Также отслежены отличительные

сезонные особенности в вертикальном распределении термохалинных характеристик и скорости звука: в осеннее и зимнее время звуковой канал на шельфе становится типа приповерхностного звукового канала (ППЗК); весной и летом протяженность ПЗК увеличивается, и он начинается на шельфе с глубин около 25 - 30 м: осенью горизонт оси ПЗК опускается до 60 – 80 м (то есть находится уже за границей шельфовой зоны) и, чем суровее предшествующая зима, тем он глубже. По акустическим особенностям западную часть Черного моря, входящую в экономическую зону Украины, можно рассматривать как состоящую из двух различных зон – зоны шельфа, в которой ПЗК присутствует только весной и летом (в период прогрева верхнего слоя вод), а осенью и зимой наблюдается ППЗК, и зоны материкового склона, характеризующуюся устойчивым ПЗК во все сезоны. Поэтому дальнейший анализ проводился как сравнительный для этих двух зон.

Из базы гидрофизических данных Отделения гидроакустики МГИ НАН Украины была сделана информационная выборка по отдельным станциям для этих двух зон в западной части Черного моря. Станции для анализа выбирались по наибольшей продолжительности данных и их представленности по сезонам. Таким образом, были выбраны следующие станции на меридиональном разрезе по  $31^{\circ}00'$  в.д. с широтой: для шельфовой зоны -  $45^{\circ} 40'$  с.ш. и  $45^{\circ} 20'$  с.ш.; для зоны материкового склона -  $45^{\circ} 00'$  с.ш. и  $44^{\circ} 20'$  с.ш. Многолетние ряды наблюдений над температурой воды на стандартных горизонтах этих станций были подвергнуты статистическому анализу [4]. Поскольку для дистанционного мониторинга состояния морской среды перспективно привлечение спутниковых наблюдений, то статистический анализ проводился также для температуры поверхностного слоя воды. Однако основное внимание было сконцентрировано на слое залегания оси ПЗК, который необходимо использовать в системе дистанционного мониторинга состояния вод методами акустического прозвучивания. Для нахождения зависимости между гидрофизическими характеристиками станций в западной части Черного моря были проанализированы рассчитанные коэффициенты корреляции: между станциями для каждого имеющегося года по сезонам (зима - февраль, весна - май, лето - июль, осень - ноябрь); для каждой станции между годами аналогично по сезонам.

Представленные ниже в таблице 1 коэффициенты корреляции между вертикальным распределением температуры воды на станциях для каждого имеющегося года приведены по рассматриваемым сезонам. Средние значения коэффициентов корреляции по станциям для каждого сезона позволяют определить станции, которые имели более значимую связь с остальными за период наблюдений.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции по станциям для всех сезонов.

Февраль				
Широта Годы	45° 40'	45° 20'	45° 00'	44° 20'
1976		0,69	0,77	0,67
1977	0,99		0,99	1,00
1978	0,58	0,49	-0,23	0,54
1981	0,33	0,12	0,40	0,63
1982	0,43	0,73	0,75	0,47
1983	0,52	0,86	0,48	0,83
1986	0,23		0,59	0,34
1987	-0,08	0,51	0,44	0,11
1989	0,24	0,46	0,35	-0,04
1990	-0,09	0,17	0,26	0,34
Ср.	0,35	0,50	0,48	0,49

Май				
Широта Годы	45° 40'	45° 20'	45° 00'	44° 20'
1972	0,99	0,99	0,99	
1973		0,99	0,98	0,98
1974	0,81	0,96	0,82	
1977	0,94	0,90	0,93	0,82
1978	0,88	0,94	0,94	0,89
1979	0,94	0,96	0,94	0,98
1980	0,93	0,92	0,94	0,87
1981	0,95	0,95	0,98	0,91
1982	0,96		0,98	0,96
1983	0,95		0,98	0,94
1984	0,93		0,99	0,93
1985	0,96		0,96	0,99
1987	0,93		0,97	0,95
1988	0,91		0,90	0,87
1994	0,93	0,95	0,88	
Ср.	0,93	0,95	0,95	0,92

Июль			
Широта Годы	45° 40'	45° 20'	45° 00'
1970	0,99	0,99	1,00
1974	1,00	1,00	1,00
1976	1,00	1,00	1,00
1986	1,00	1,00	1,00
1990	1,00	1,00	0,99
Ср.	1,00	1,00	1,00

Ноябрь				
Широта Годы	45° 40'	45° 20'	45° 00'	44° 20'
1974	0,49	0,31	0,58	0,46
1977		0,97	0,99	0,97
1978	0,17	0,24	0,12	0,97
1980	0,84	0,93	0,91	1,00
1981	0,73	0,94	0,82	0,89
1983	0,59	0,67	0,92	
1986			1,00	0,50
1987	0,27	0,40	-0,04	-0,04
1988	0,81	0,60		0,61
1989	0,90	0,86	0,94	0,92
Ср.	0,60	0,66	0,70	0,70

Хорошо видно, что полученные коэффициенты корреляции существенно отличаются в зависимости от сезона – весной и летом они составляют примерно 0,95 и 1,0 соответственно, а зимой и осенью – соответственно 0,4-0,5 и 0,6-0,7. Кроме того, в результате расчетов мы получили, что станции 45° 00' с.ш. и 45° 20' с.ш. имеют более значимую линейную связь со станциями, находящимися соответственно в зоне материкового склона и в зоне берегового шельфа, поскольку они находятся между этими зонами.

Из анализа вычисленных коэффициентов корреляции по годам для всех станций установлено, что в период, когда начинается поступление холодных воздушных масс на морскую поверхность, эти коэффициенты имеют отрицательный знак. Это может быть обусловлено тем, что осенью, начиная с октября, происходит охлаждение поверхностных водных масс, что ведет к конвективному перемешиванию и проникновению холодной воды на глубину, т. е. начинается нарушение устойчивой стратификации вод. Особенно это проявляется на станциях, расположенных на континентальном шельфе на небольших глубинах. К февралю этот процесс распространяется на большие глубины и уже наблюдается на станциях, расположенных ближе к материковому склону. В теплое время года (весной и летом) коэффициенты корреляции имеют положительный знак, так как водные массы прогреваются, и устанавливается их устойчивая стратификация.

По проведенному статистическому анализу можно сформулировать следующие сезонные закономерности: весной и летом, то есть в период установления устойчивой стратификации вод, когда происходит нагрев поверхностного слоя, зависимость между станциями на рассматриваемом меридиональном разрезе настолько высока, что коэффициент корреляции около 0,9 – 1,0. В период охлаждения поверхностного слоя вод – осенью и зимой коэффициенты корреляции невысоки от 0,2 до 0,6, поэтому использовать линейные прогностические зависимости можно с большим допущением. Как и следовало ожидать, коэффициенты корреляции между станциями, расположенными в середине разреза с близлежащими крайними станциями, попарно более высокие – между 44° 20' с.ш. и 45° 00' с.ш. – 0,50 – 0,95, а между 45° 20' с.ш. и 45° 40' с.ш. – 0,50 – 1,00. Это свидетельствует о возможности применения линейных регрессионных уравнений для прогноза распределения температуры воды по соответствующим станциям, так как может быть установлена вероятностная закономерность.

Анализ зависимости межгодового хода температуры воды на поверхности и на глубине залегания оси ПЗК на этих же станциях позволяет обосновать выбор топологических точек или зон, которые можно использовать при создании системы регионального мониторинга вод в Черном море на основе дистанционных методов, в том числе прозвучивания. Также были построены регрессионные линейные уравнения для составления прогноза межгодовых изменений поверхностной и минимальной в слое температуры воды по станциям на меридиональном разрезе (с заблаговременностью 1 год) и оценена их оправдываемость для значимых коэффициентов корреляции (таблицы 2 и 3).

Таблица 2. Прогностическое уравнение для поверхностной температуры воды и его оправдываемость для станций на меридиональном разрезе по 31° 00' в.д.

Сезон	Шельфовая зона			Зона материкового склона		
	Коэф. кор.	Уравнение регрессии	Опр-ть, %	Коэф. кор.	Уравнение Регрессии	Опр-ть, %
Весна	0,89	$Y=1,0972X-1,1864$	70	0,72	$Y=0,4575X+7,3117$	57
Лето	0,47	$Y=0,9867X+0,7798$	50	0,87	$Y=0,6959X+7,5061$	67

По полученным результатам для двух рассматриваемых зон можно сделать выводы, что на основании линейных зависимостей может быть осуществлен прогноз межгодовых колебаний температуры воды на поверхности в весенний сезон для обеих зон, а летом только в зоне материкового склона. Для остальных сезонов, как в зоне материкового склона, так и в шельфовой зоне составление прогноза не оправдано.

Таблица 3. Прогностическое уравнение для минимальной температуры воды и его оправдываемость для станций на меридиональном разрезе по 31° 00' в.д.

Сезон	Шельфовая зона			Зона материкового склона		
	Коэф. кор.	Уравнение регрессии	Опр-ть, %	Коэф. кор.	Уравнение регрессии	Опр-ть, %
Зима	0,87	$Y=-1,00+0,95X$	85,7	0,84	$Y=-10,54+2,22X$	85,7
Весна	0,58	$Y= 1,22+0,88X$	60	0,72	$Y=-2,67+1,28X$	58,8
Лето	0,32		---	0,51	$Y=-10,99+2,61X$	81,8
Осень	0,66	$Y= 6,05+0,50X$	87,5	0,15		---

Сопоставление межгодовой изменчивости минимальной температуры воды показало, что между станциями на меридиональном разрезе для зимнего времени года коэффициент корреляции в рассматриваемых точках шельфовой зоны составил 0,87, а зоны материкового склона – 0,84, то есть был определенно значим; весной коэффициент корреляции составил соответственно 0,58 и 0,72, что свидетельствует об оправданности получения весной прогностических значений на основании уравнений регрессии; в летний сезон коэффициент корреляции для материкового склона был еще значим – 0,51, а по шельфовому району – 0,32, что исключает возможность использовать уравнение линейной регрессии для прогноза; осенью на материковом склоне коэффициент корреляции составил – 0,15, что также исключает возможность использовать уравнение линейной регрессии для прогноза, а для шельфовой зоны – 0,66.

Для определения станций, которые являются наиболее значимыми по сравнению с соседними при составлении прогностических уравнений, были установлены среднеквадратические отклонения, вычисленные по данным наблюдений за температурой воды. Анализ обобщенных данных о вертикальном распределении температуры воды по годам с целью оценки прогностических возможностей станций на основании среднеквадратических отклонений прогностических уравнений для каждой станции по сезонам показал, что наиболее репрезентативной на этом меридиональном разрезе является станция с широтой 45°00'с.ш. Следующей по возможности использования может быть станция с широтой 45°20'с.ш. Эти станции находятся в середине рассматриваемого разреза и полученные результаты о возможности составления прогноза на основании линейных уравнений регрессии для находящихся на границах разреза станциях, характеризующих соответственно материковый склон и шельфовую зону закономерны.

Полученные результаты статистического анализа для двух рассматриваемых зон (шельфа и материкового склона) позволяют сделать выводы, что даже, исходя из линейных зависимостей характерных параметров, может быть осуществлен выбор топологических точек или зон, определяемых в соответствии с поставленными задачами. Использование прозвучивания в северо-западной части Черного моря оправдано в зимний сезон. В другие сезоны это возможно, начиная с района материкового склона. Для успешного и наиболее продуктивного внедрения методов прозвучивания перспективной представляется зона материкового склона западной части Черного моря, прозвучивая которую можно отслеживать гидродинамические процессы, воздействующие на состояние вод северо-западного шельфа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Скипа М.И., Холопцев А.В. Метод двухкомпонентного зондирования в гидролокационных исследованиях интрузий в морской среде// Акустический мониторинг сред. М. Акустический институт им. Н.Н.Андреева, 1993. – с. 206-207.
2. Блатов А.С., Булгаков Н.П., Иванов В.А. и др. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря. – Л. Гидрометеоздат, 1984. 239с.
3. Андрианова О.Р., Холопцев А.В. О стратификации вод западной части Черного моря// Океанология. – 1992. вып.2, т.32. – с.234-240.
4. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М. Мир, 1974. 463 с.