



УДК 551.463.2 (262)

Е. Н. Сибирцова, асп., **Ю. Н. Токарев**, д.б.н., зав. отд.

Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,
Севастополь, Украина

РАЙОНИРОВАНИЕ МОРЕЙ СРЕДИЗЕМНОМОРСКОГО БАССЕЙНА ПО АКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ВЕРХНЕГО ПРОДУКТИВНОГО СЛОЯ

В результате анализа материалов экспедиционных исследований ИнБЮМ НАН Украины (1979 – 1999) изучены пространственно-временная изменчивость звукорассеивающих слоёв (ЗРС) верхнего продуктивного слоя морей Средиземноморского бассейна и состав населяющих их гидробионтов. Проведено районирование Средиземноморья на 5 регионов, отличающихся по гидроакустическим, гидрологическим и биологическим параметрам. Выявлено, что море Альборан является регионом с наибольшей вертикальной стратификацией ЗРС, тогда как наибольшим диапазоном суточных вертикальных миграций ЗРС отличается Ионическое море. Высокая суточная динамика звукового рассеяния приповерхностного слоя характерна для Чёрного и Эгейского морей.

Ключевые слова: планктон, пелагиаль, миграции, акустическое поле, моря Средиземноморского бассейна

Исследование биоресурсов океана, поиск и освоение новых районов промысла, количественная оценка параметров пространственного распределения промысловых объектов и определение возможных величин их изъятия невозможно без широкого использования гидроакустической техники. Являясь важной составной частью оперативной океанографии, акустической теплолокации, биофизической экологии и ряда других разделов современной океанологии, гидроакустика имеет первостепенное значение именно для тех областей человеческой деятельности, которые связаны с освоением биологических и минеральных ресурсов океана.

Возможность оперативной оценки биомассы скоплений гидробионтов, их протяжённости и расположения в пространстве без внесения искажений в окружающую среду является несомненным преимуществом гидроакустических методов изучения морей и океанов.

Однако, несмотря на очевидные достижения последних десятилетий в области разви-

тия гидроакустической аппаратуры и многочисленные публикации о географии, интенсивности и суточной вариабельности акустических характеристик пелагиали, гидроакустические исследования всё ещё остаются достаточно приблизительными и пока относятся к числу скорее описательных, нежели строго количественных методов [14, 17]. Это показано, в частности, при многочисленных исследованиях звукорассеивающих слоёв (ЗРС) – скоплений гидробионтов различной плотности и протяжённости на определённых глубинах Мирового океана, которые вызывают рассеяние звуковых волн в широком диапазоне частот.

Пространственно-временная изменчивость ЗРС определяется сочетанием множества климато-географических и гидрофизических параметров, рельефом дна, составом биоты каждого отдельного региона и т.д. Региональная дифференциация акустических характеристик пелагиали показана, в частности, для ряда районов Мирового океана [11].

Вместе с тем, для бассейна Средиземного моря до сих пор подобного районирования не проведено, хотя изучению звукорассеивающих слоев этого региона посвящено уже более 50 лет и показана их повсеместная регистрация на разных частотах [1, 12, 14, 18, 19, 20, 22]. Между тем, многие его регионы имеют существенные отличия в биологической продуктивности и видовом разнообразии населения пелагиали [4, 6], а также в гидрологических, гидрохимических и динамических параметрах водных масс [9]. Это априори предопределяет региональные особенности (типологию) вертикальной структуры ЗРС и её временную вариативность.

В силу сказанного выше, основной целью данной работы являлось проведение региональной типологии вертикальной структуры ЗРС верхнего продуктивного слоя морей Сре-

диземноморского бассейна и оценка состава населяющей их фауны, а также определение некоторых параметров их динамики и функционирования.

Материал и методы. Обширный массив наблюдений акустических параметров морей Средиземноморского бассейна за более чем 30-летний период накоплен в отделе биофизической экологии ИнБЮМ НАН Украины. Эти материалы выгодно отличаются тем, что они выполнены по единой методологии, с использованием оригинальной акустической аппаратуры на одной частоте эхолоцирования (80 кГц).

Для анализа привлечены материалы акустических и биологических исследований, которые проводились на дрейфовых станциях и на ходу судна по маршрутам научных рейсов Национальной академии наук Украины в период с 1979 по 1999 гг. (рис. 1).

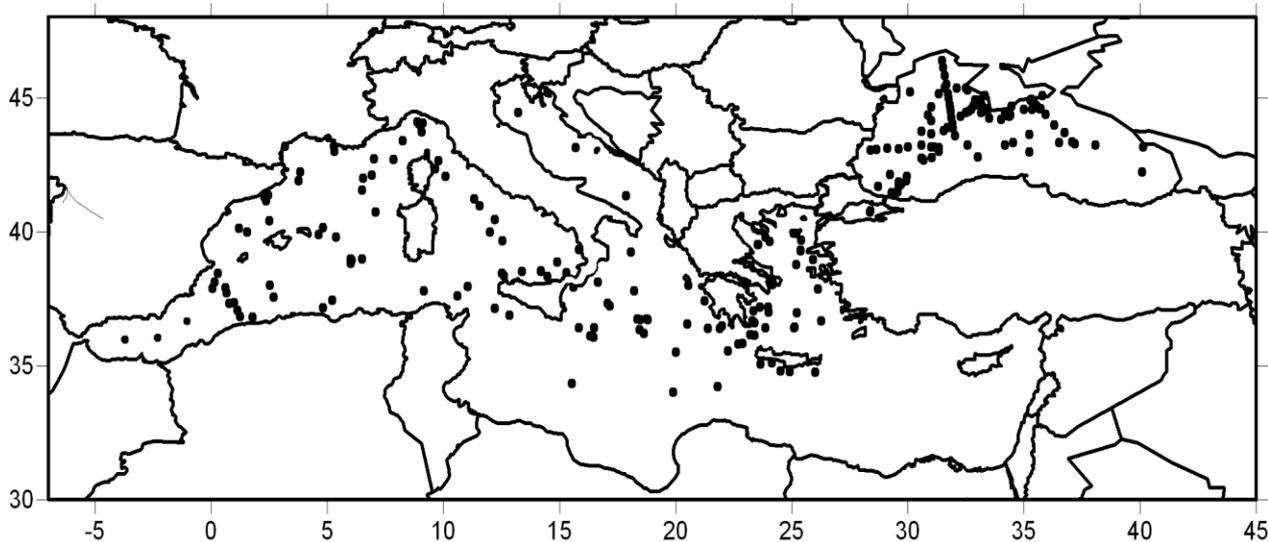


Рис. 1 Расположения станций с акустическими исследованиями ИнБЮМ в морях Средиземноморского бассейна в период с 1979 по 1999 гг.

Fig.1 Location the stations with acoustical researchs by IBSS at Mediterranean basin seas during the period from 1979 to 1999

Для получения количественных оценок пространственно-временной изменчивости характеристик рассеяния звука населяющими пелагиаль морскими организмами использовалась, разработанная в лаборатории биолюминесценции и биоакустики (ныне – отдел биофизиче-

ской экологии ИнБЮМ НАН Украины) автоматизированная приставка к судовым эхолотам «Скат» в комплекте с передающей частью гидроакустического комплекса «Планктон-2» [14].

Результатом обработки величины звуковой реверберации являлась пространственно-временная матрица распределённого по глубине эхосигнала, средних значений уровня рассеяния звука и их дисперсий, как по стандартным слоям водной толщи, так и по слоям и горизонтам, задаваемым оператором. Кроме того, проводилось построение графиков силы обратного объёмного рассеяния звука (СООРЗ) в акустических единицах и выполнялся расчёт сечения обратного рассеяния.

Величина объёмной звуковой реверберации является функцией количества и вида рассеивателей, содержащихся в лоцируемой толще воды. Основным параметром её оценки является сила обратного объёмного рассеяния звука (СООРЗ) – выраженное в децибелах отношение приведённой к расстоянию в 1 м интенсивности звука, рассеиваемого единичным объёмом воды, к интенсивности падающей плоской волны [5]:

$$S_v(h) = 10 \lg m_v(h) \quad (1),$$

где: $S_v(h)$ – сила обратного объёмного рассеяния звука (СООРЗ);

h – глубина (м);

$m_v(h)$ – коэффициент обратного объёмного рассеяния, равный:

$$m_v(h) = W \cdot IV^{-1} \quad (2),$$

где: W – мощность, рассеиваемая объёмом V в единице телесного угла в обратном направлении; I – интенсивность звуковой посылки.

Для определения видового состава основных форм планктонного населения ЗРС и определения их биомассы проводили сбор сестона по стандартным слоям 0 – 10, 10 – 25, 25 – 50, 50 – 75, 75 – 100, 100 – 150 и 150 – 200 м с помощью малой сети Джеди (диаметр входного отверстия 36 см), оснащённой ситом с размером ячеек 110 мкм. На суточных дрейфовых станциях выполнялись также тотальные ловы планктона в слоях 0 – 20, 0 – 100 и 0 – 200 м через каждые 6 ч.

Сведения о видовом составе и количественных параметрах населения ЗРС получали также путём их облова при помощи разноглу-

бинного 4-метрового трала Айзекса-Кидда [3] и макропланктонной сети Мельникова [25]. Трал использовался для облова морских организмов с размерами от 1 до 10 см в слое 0 – 500 м при скорости траления в 2.5 – 3.5 узлов. Сеть применялась для сбора проб с целью установления состава макропланктона в верхнем деятельном слое на скорости 4 – 5 узлов. Оснащена она была газом с размером ячеек в 500 мкм и системой замыкания на заданной глубине. входное отверстие сети составляло 0.5 м².

Первичный анализ собранных тралом Айзекса-Кидда и макропланктонной сетью Мельникова проб выполнялся на борту судна под бинокулярным микроскопом. Проводились определение таксономической принадлежности, учёт и взвешивание групп животных с близкими акустическими свойствами, после чего они фиксировались 40 % формалином. Дальнейшая обработка проб, проводимая в береговых условиях, заключалась в детализации собранного материала по размерным классам, половым признакам, возрастным стадиям и т.д.

Всего на 263 станциях проведено 15500 акустических зондирований верхнего продуктивного слоя (0 – 200 м) и собрано 2065 планктонных проб. Кроме того, к анализу привлечены материалы зарубежных коллег по фауне и акустическим характеристикам ЗРС морей бассейна, а также база данных по биологии и гидрологии Чёрного моря (OceanBase 2.02 TU – BS (NATO TU – Black Sea Project) Copyright © 1997, MHI NASU, IMS METU).

Результаты. Исследования позволили выявить существенные региональные различия акустических параметров водной толщи и распределения формирующих их сообществ гидробионтов. Так, в Чёрном море уровень акустического рассеяния и степень стратификации вертикальной структуры ЗРС изменяется по сезонам с наиболее высокими параметрами рассеяния в весенние (март) и осенние (сентябрь – октябрь) периоды при отчётливой суточной динамике акустических характеристик в слое 0 – 30 м (рис. 2, 3, 4).

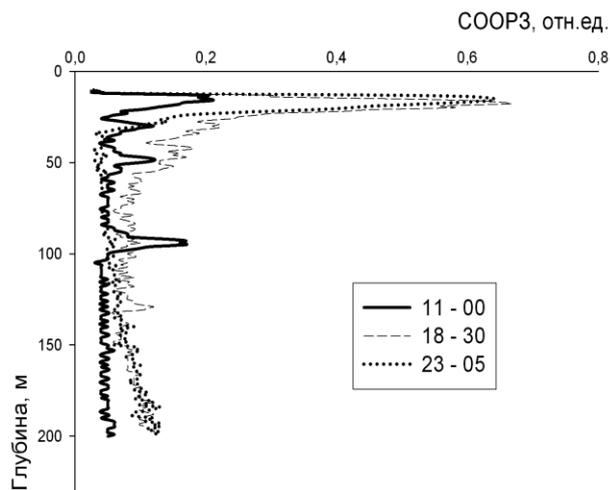


Рис. 2 Вертикальные профили СООРЗ в Чёрном море на ст. 10 (43°10'2"с.ш. 31°0'00"в.д.) в сентябре 1989 г. в дневное, вечернее и ночное время
 Fig. 2 The vertical SVBS profiles in the Black Sea at st. 10 (43°10'2"N 31°0'00"E) in September 1989 at day, evening and night-time

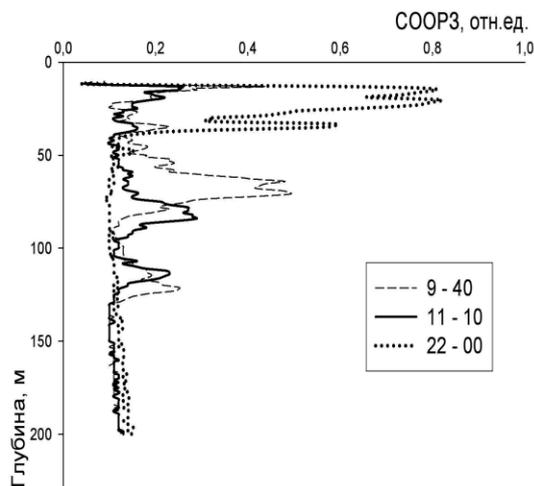


Рис. 3 Вертикальные профили СООРЗ в Чёрном море на ст. 35 (44°10'0"с.ш. 31°0'00"в.д.) в октябре 1989 г. в утреннее, дневное и ночное время
 Fig. 3 The vertical SVBS profiles in the Black Sea at st. 35 (44°10'0"N 31°0'00"E) in October 1989 at morning, day and night-time

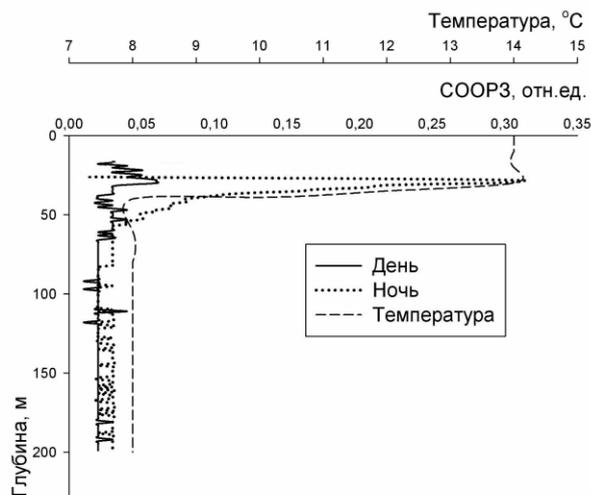


Рис. 4 Вертикальные профили СООРЗ и температуры в Чёрном море на ст. 4825 (43°31'с.ш. 31°34'в.д.) в октябре 1991 г. в дневное и ночное время
 Fig. 4 The vertical SVBS and temperature profiles in the Black Sea at st. 4825 (43°31'N 31°34'E) in October 1991 at day- and night-time

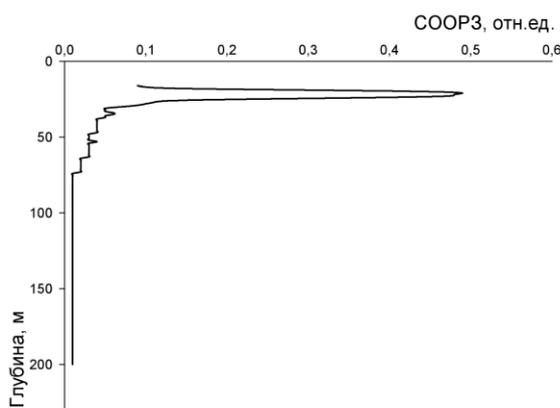


Рис. 5 Вертикальные профили СООРЗ в Мраморном море на ст. 28 (40°45'4"с.ш. 28°21'4"в.д.) в мае 1991 г. в ночное время
 Fig. 5 The vertical SVBS profiles in the Sea of Marmara at st. 28 (40°45'4"N 28°21'4"E) in May 1991 at night-time
 более узком слое 20 – 35 м, находясь непосредственно в зоне термоклина (20 – 35 м). В то же время, суточная динамика выражена здесь менее явно, чем в Чёрном море.

В Мраморном море во все сезоны (рис. 5) рассеяние было интенсивнее черноморского и стратифицировано в ночное время в слое 0 – 100 м [26]. Ночью ЗРС фиксировался в

При этом ночной уровень рассеяния звука превышает дневной в 2 – 3 раза. Доми-

нирующими представителями ЗРС в Чёрном море являлись копеподы, гребневики и рыбы (черноморский шпрот и черноморский мерланг).

Зарубежные авторы отмечают наличие в дневное и в ночное время отчётливого ЗРС на глубине 40 – 80 м, составленного, как показали сетные пробы, отмершими организмами копепод, кладоцер и личинок полихет [26].

Верхний перемешанный слой на станциях в Эгейском и Ионическом морях в осенний период простирался до глубин 60 м, слой термохалинных градиентов был выражен много слабее и не так отчётливо, как в Чёрном море, и занимал от 14 до 60 м по глубине. Показатели СООРЗ были сходного уровня с черноморскими

и мраморноморскими, составляя 0.4 – 0.6 отн.ед. (рис. 6).

В Эгейском море скопления рассеивателей (в основном копепод) наблюдались ночью в приповерхностном слое 10 – 50 м, а днём на глубине 250 – 350 м (эуфаузииды, миктофиды). Поднявшийся в верхнюю 100-метровую толщу ЗРС не переформировывался и в период утренней миграции в течение 60 мин до восхода солнца опускался со средней скоростью 3.3 м·мин⁻¹, после чего на глубине 250 – 270 м рассеивался. Основу фаунистического состава ЗРС этого региона составляли копеподы, эуфаузииды и миктофиды. В апреле наблюдались высокие показатели СООРЗ, достигающие 0.9 отн. ед. в дневное и ночное время, что превышало таковые в Чёрном море, более чем в 2 раза. При этом ЗРС был расположен над термоклином (рис. 7).

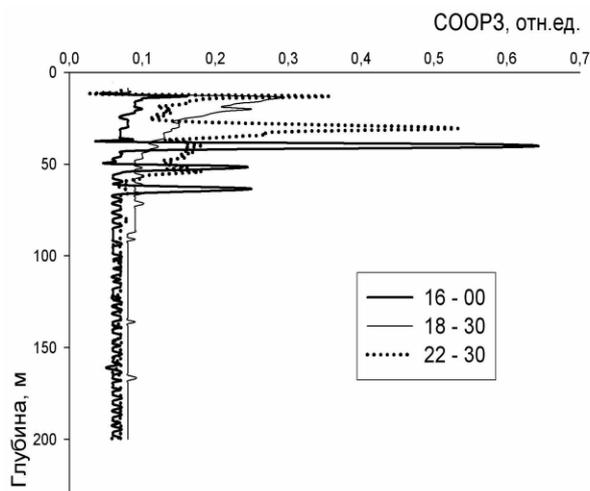


Рис. 6 Вертикальные профили СООРЗ в Эгейском море на ст. 26 (36°28'8"с.ш. 25°00'7"в.д.) в октябре 1989 г. в дневное, вечернее и ночное время
Fig. 6 The vertical SVBS profiles in the Aegean Sea at st. 26 (36°28'8"N 25°00'7"E) in October 1989 at day, evening and night-time

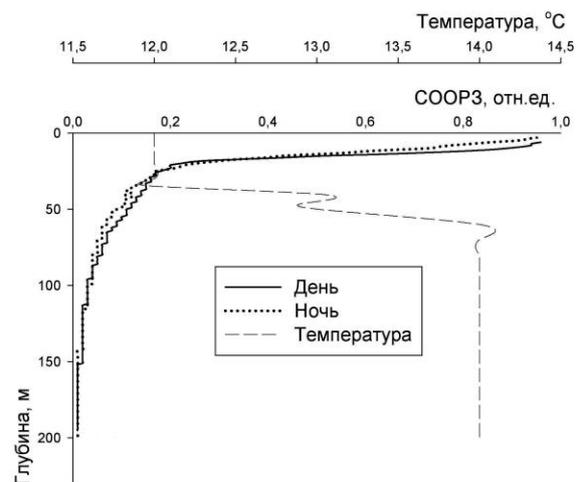


Рис. 7 Вертикальные профили СООРЗ и температуры в Эгейском море на ст. 26 (39°20'4"с.ш. 25°34'89"в.д.) в апреле 1991 г. в дневное и ночное время
Fig. 7 The vertical SVBS and temperature profiles in the Aegean Sea at st. 26 (36°28'8"N 25°00'7"E) in April 1991 at day and night-time

В Ионическом море в осенний период (октябрь) звукорассеивающий слой фиксировался в светлое время суток на глубине 200 – 300 м. В вечернее время он начинал мигрировать к поверхности со средней скоростью 0.6 м·мин⁻¹ и перераспределялся к 19 ч 00 мин на

два слоя. Первый слой толщиной 30 м имел верхнюю границу на глубине 130 м, а верхняя граница второго располагалась на глубине 250 м. После 19 ч начинался период активной миграции обоих ЗРС, при котором скорость их подъема составляла уже 2.7 м·мин⁻¹.

Через 40 мин активного вертикального перемещения оба слоя сливались в один, занимавший водную толщу от поверхности до глубины 120 м с более выраженными показателями СООРЗ в приповерхностном слое 15 – 30 м (рис. 8). В 7 ч 20 мин утра начиналось перемещение вниз вновь сформированных к этому времени двух ЗРС: верхнего, залегающего на глубинах от 70 м до 100 м, и нижнего – в промежутке глубин 110 – 160 м. Средняя скорость утренней миграции ЗРС составляла $2.0 \text{ м} \cdot \text{мин}^{-1}$. Основу

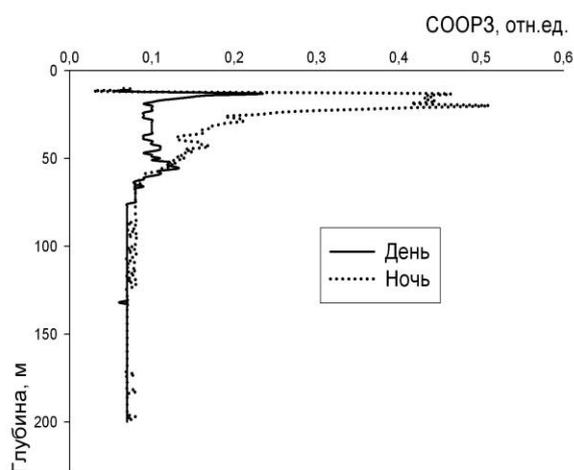


Рис. 8 Вертикальные профили СООРЗ в Ионическом море на ст. 24 ($35^{\circ}50'2''\text{с.ш. } 22^{\circ}52'00''\text{в.д.}$) в октябре 1989 г. в ночное время

Fig. 8 The vertical SVBS profiles in the Ionian Sea at st. 24 ($35^{\circ}50'2''\text{N } 22^{\circ}52'00''\text{E}$) in October 1989 at day and night-time

В Тунисском проливе в апреле не наблюдалось чётко выраженного ЗРС. Гидробионты-рассеиватели (копеподы, хетогнаты, кладоцеры, аппендикулярии) днём концентрировались (при отсутствии отчётливого термоклина) в слое 10 – 45 м (рис. 10).

В Тирренском море в апреле наблюдались ещё меньшие показатели СООРЗ (0.15 отн. ед.) (рис. 11), а в Лигурийском море в этот же период аналогичные показатели в ночное время достигали 0.8 отн. ед. Составленный копеподами ЗРС занимал толщу воды 5 – 40 м. В летний период на глубине 70 – 150 м, по данным зарубежных коллег [24], фиксировался

фаунистического состава ЗРС в Ионическом море, также как и в Эгейском, составляли эуфузииды, миктофиды и копеподы. В весенний период (апрель) в Ионическом море показатели СООРЗ ночью также достигают 0.4 – 0.43 отн. ед. ЗРС в это время приурочен к узкому слою 10 – 30 м и представлен копеподами (рис. 9). При этом на глубине 270 – 350 м фиксировался ЗРС, составленный миктофидами и эуфузидами.

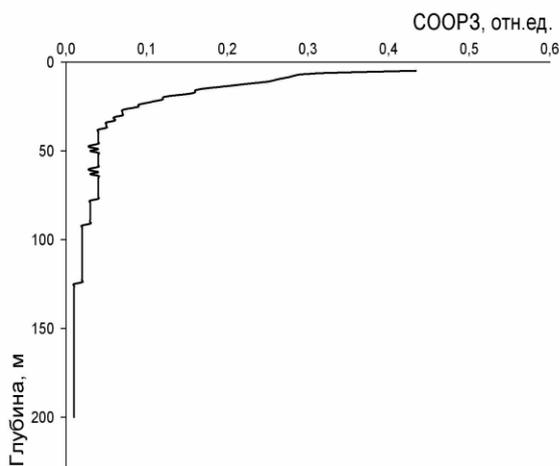


Рис. 9 Вертикальные профили СООРЗ в Ионическом море на ст. 4 ($37^{\circ}14'0''\text{с.ш. } 17^{\circ}09'27''\text{в.д.}$) в апреле 1991 г. в ночное время

Fig. 9 The vertical SVBS profiles in the Ionian Sea at st. 4 ($37^{\circ}14'0''\text{N } 17^{\circ}09'27''\text{E}$) in April 1991 at night-time

второй ярко выраженный ЗРС, составленный эуфузидами, который в дневное время находился на глубине 150 – 300 м.

В море Альборан в июле величины СООРЗ были достаточно высоки и составляли в ночное время 0.7 отн. ед. (рис. 12). ЗРС, основными представителями фауны которого являлись копеподы, концентрировался в это время в слое 10 – 40 м.

Одни из наиболее высоких показателей СООРЗ зафиксированы в Балеарском море в апреле (рис. 13). Здесь во время утренней миграции гидробионтов на глубину (начало в 05 ч 40 мин) в верхнем продуктивном слое

наблюдалось три отдельных ЗРС: 0 – 30 м (0.9 отн. ед.), 70 – 90 м (0.6 отн. ед.) и 130 – 170 м (0.36 отн. ед.). Иностранцы авторы [27] также выявили наличие сложной вертикальной структуры зоопланктона этого региона как в

летне-осенний, так и в зимний периоды, с наличием мощного ЗРС ночью на глубинах 350 – 400 м (эуфаузииды, миктофиды, гоностоимиды) и днём на 30 – 70 м (медузы, кладоцеры, сифонофоры, сальпы).

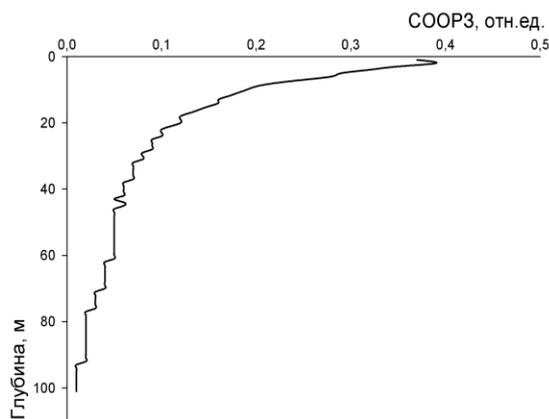


Рис. 10 Вертикальные профили СООРЗ в Тунисском проливе на ст. 19 (37°36'58" с.ш. 10°35'14" в.д.) в апреле 1991 г. в дневное время
Fig. 10 The vertical SVBS profiles in the Ibiza Channel at st. 19 (37°36'58"N 10°35'14"E) in April 1991 at day-time

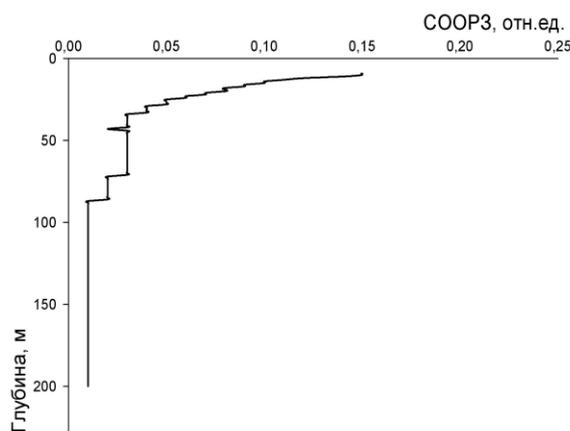


Рис. 11 Вертикальные профили СООРЗ в Тирренском море на ст. 7 (38°20'00" с.ш. 14°28'5" в.д.) в апреле 1991 г. в дневное время.
Fig. 11 The vertical ABSS profiles in the Tyrrhenian Sea at st. 7 (38°20'00"N 14°28'5"E) in April 1991 at day-time

Как следует из представленных в табл. 1 материалов, в большинстве регионов доминирующими организмами в фауне мигрирующих ЗРС являются ракообразные (копеподы и эуфаузииды), реже – хетогнаты, сифонофоры и рыбы. Фаунистический состав ЗРС, помимо географического расположения региона, определяется глубиной залегания и гидрологическими параметрами водных масс.

В результате исследования скоростей миграций ЗРС в различных морях Средиземноморского бассейна (табл. 2) выявлена отчётливая тенденция: при различных скоростях миграций ЗРС в вечерние и утренние часы наблюдается повышение показателей скоростей вертикальных перемещений организмов в направлении от западных к восточным и от южных к северным регионам Средиземного моря.

Табл. 2 Скорости миграций ЗРС разных районов Средиземноморского бассейна
Table 2 SSL migration velocities of the Mediterranean basin different regions

Регион	Средняя скорость миграции ЗРС, м·мин ⁻¹	Источник данных
Балеарское море	1.2 – 3.0	[27; собств. данн.]
Тунисский пролив	1.2 – 2.0	Собств. данные
Лигурийское море	1.0 – 3.0	Собств. данные
Тирренское море	1.1 – 3.5	Собств. данные
Ионическое море	2.0 – 4.0	[2; собств. данн.]
Эгейское море	3 – 3.5	[10; собств. данн.]
Чёрное море	4.0 – 6.0	[12, 14; собств. данн.]

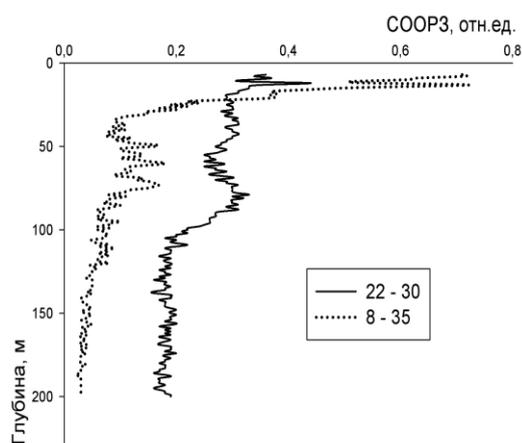


Рис. 12 Вертикальные профили СООРЗ в море Альборан на ст. 16 (37°53'0"с.ш. 00°03'00"з.д.) в июле 1991 г. в дневное и ночное время

Fig. 12 The vertical SVBS profiles in the Alboran Sea at st. 16 (37°53'0"N 00°03'00"W) in July 1991 at day and night-time

Обсуждение. Выявленная существенная пространственная неоднородность ЗРС и их временная изменчивость объясняются тем, что вклад физических и биологических механизмов в возникновение пространственной неоднородности планктонтов верхнего продуктивного слоя (0 – 200 м) в разных районах существенно различается. Показано, в частности, что эти механизмы зависят от времени суток, сезона, физико-химических параметров среды, соотношения организмов разного филогенетического уровня и т.д. [1, 11, 12, 14, 15, 18, 19, 21]. Так, в полном соответствии с материалами по биологической продуктивности этого региона [4, 6, 7, 8] минимальные величины СООРЗ зарегистрированы в олиготрофных районах центральной части Ионического моря, Тунисского пролива, Тирренского моря (центральный регион Средиземноморского бассейна), а максимальные – в самом западном регионе Средиземноморского бассейна у испанского побережья (море Альборан), а также в его северной части (Чёрное море).

Практическое отсутствие суточной динамики СООРЗ деятельного слоя в Чёрном море (исключая приповерхностный слой) согласуется с данными других авторов и объясняется отсутствием зоопланктона в Чёрном море на

72

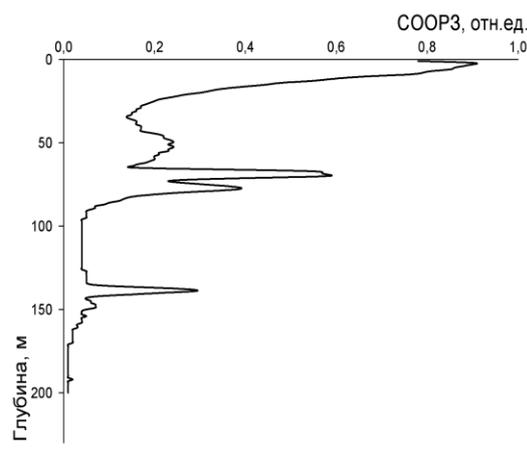


Рис. 13 Вертикальные профили СООРЗ в Балеарском море на ст. 15 (41°22'44"с.ш. 02°26'28"в.д.) в апреле 1991 г. в утреннее время

Fig. 13 The vertical SVBS profiles in the Balearic Sea at st. 15 (41°22'44"N 02°26'28"E) in April 1991 at morning-time

глубинах ниже 150 – 200 м из-за сероводородной зоны [9]. При этом необходимо выделить высокие величины СООРЗ в зоне подъёма вод в юго-западной части Чёрного моря, к которым приурочены высокие биомассам зоопланктона.

С другой стороны, существенные отличия акустических параметров деятельного слоя в позднелетний и осенний периоды в этом регионе объясняются изменением гидрологической и биологической ситуаций. Так, в осенний период в ЗРС этого региона наблюдалось обилие медузы *Aurelia aurita*, а также гребневиков *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata* и *Pleurobrachia pileus*, имевших различный по глубине диапазон вертикального распределения: более крупные и теплолюбивые *M. leidyi* приурочены к верхнему гомотермному слою, а холодолюбивые *P. pileus* – к более глубоким и прохладным водам.

Чёрное и Эгейское моря отличаются высокой суточной ритмикой величин СООРЗ приповерхностного слоя (0 – 50 м).

Средняя величина биомассы сестона на станциях в Эгейском и Ионическом морях в слое 0 – 100 м была в 3 – 7 раз ниже зарегистрированной в Чёрном море.

Что касается причин наибольшего диапазона суточных вертикальных миграций ЗРС, зарегистрированного в центральном регионе Ионического моря, то это объясняется, в частности, наивысшим видовым разнообразием фауны ЗРС в этом регионе, что приводило, в частности, к сложному переформированию слоёв повышенного рассеяния звука при вечерней и утренней миграциях. Моря Леванта (исключая район дельты Нила и залив Искендерун) и Сирта – наиболее олиготрофная часть Средиземноморского бассейна, где основу ЗРС как по биомассе, так и по численности составляли копеподы и сифонофоры. В весенний период список доминирующих в ЗРС этого региона групп дополняли птероподы, икра и личинки рыб, а в осенний – кладоцеры [23].

Распределение ЗРС в деятельном слое Лигурийского моря в ночное время имело выраженную мелкомасштабную пространственную неоднородность, с размерами «пятен» в 10 м по вертикали и до 200 м по горизонтали [30]. Это объясняется основным вкладом в рассеяние звука этого региона не мезозoopланктона, вертикальное распределение которого не подвержено существенным изменениям в течение суток [24], а доминированием в ЗРС эвфаузииды *Meganyciphanes norvegica*, имеющей значительный диапазон суточных вертикальных миграций. В дневное время, однако, макрозоопланктон мигрировал на глубины более 200 м, а в поверхностном слое преобладали сальпы и сифонофоры. Высокие концентрации биомассы *M. norvegica* в Лигурийском море, определяющие особенности формирования пространственной структуры СООРЗ в деятельном слое региона, объясняются спецификой питания этого организма. Действительно, криль является как первичным консументом, питаясь фитопланктоном, так и вторичным консументом, питаясь микрозоопланктоном. Эвфаузида *M. norvegica* ночью сосредоточена на глубинах до 150 м, совпадающих в этом регионе с максимумами концентрации хлорофилла «а», являющегося индикатором обильного здесь фитопланк-

тона. В дневное время она мигрирует на глубины более 200 м. Таким образом, способность к активной миграции позволяет крилю постоянно оставаться в высокопродуктивной зоне.

Сложной вертикальной структурой ЗРС отличались моря западного сектора Средиземноморского бассейна и, прежде всего, море Альборан. Зарубежными авторами в этом регионе были выявлены три различных звуко-рассеивающих слоя [16]. Первый регистрировался в диапазоне глубин 300 – 600 м с максимальной интенсивностью СООРЗ в слое 400 – 500 м, которая снижалась в ночное время. Доминирующими рассеивателями здесь были рыбы рода *Cyclothone* и другие представители микронектона. Второй слой фиксировался в дневное время на глубинах менее 300 м и мигрировал к поверхности в ночное время. Наконец, третий слой повышенного звукового рассеяния был, как и глубинный, не мигрирующим и постоянно фиксировался в слое 100 – 150 м. Основными рассеивателями здесь являлись хетогнаты, личиночные стадии эуфаузиид, миктофиды.

Наибольшая стратификация вертикальной структуры ЗРС этого региона объясняется наличием апвеллинга в его центральной части, который обогащает биогенами верхние слои моря, что ведёт к последовательному повышению в этом регионе численности и биомассы фитопланктона, зоопланктона и рыб. Величина СООРЗ в слое 10 – 25 м в море Альборан в 2 – 3 раза превышала уровень рассеяния звука в открытых районах центрального региона. При анализе распределения СООРЗ в целом по фотическому слою разница между уровнем звуковой реверберации в олиготрофных и эвтрофированных районах, в основном, сохраняется.

Оценка пространственного распределения СООРЗ морей Средиземноморского бассейна позволяет сделать важное заключение, что величина звукового рассеяния в приповерхностном слое 10 – 25 м отражает уровень эвтрофикации, проявляющейся в районах

выраженного антропогенного пресса. Об этом можно судить, в частности, по приуроченности максимальных величин СООРЗ в этом слое к густозаселенным районам Средиземноморского побережья (Лионский залив, Тирренское побережье Италии и др.) и его основным транспортным маршрутам (Эгейское море, проливы и т.д.).

Интерес представляет сопоставление приведенных результатов пространственно-временной изменчивости СООРЗ с характером сезонного распределения биомасс организмов – рассеивателей по регионам. Данные по биомас-

сам представлены на рис. 14 (без учёта биомассы желтелых). В июле – августе в прибрежных районах центрального, северного, северо-восточного и восточного регионов показатели биомасс максимальны, в глубоководных районах – минимальны. Однако, уже в сентябре – октябре наблюдается прямо противоположная картина: глубоководные районы имеют наибольшие показатели биомасс, тогда как прибрежные – минимальные. Только в западном регионе распределение биомасс по акватории равномерно вне зависимости от сезона.

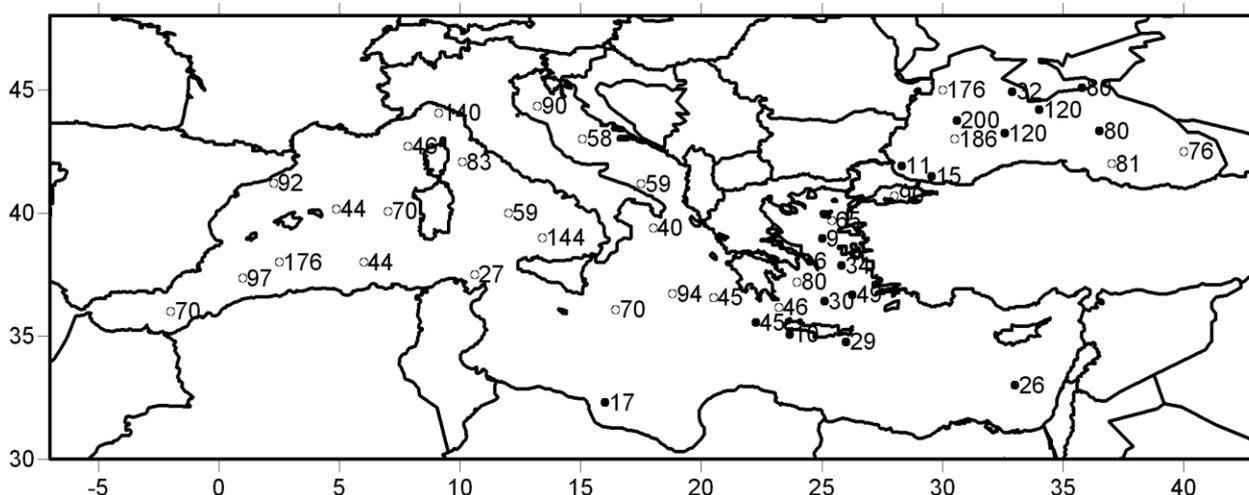


Рис. 14 Распределение сырой биомассы зоопланктона ($\text{мг}\cdot\text{м}^{-3}$) в морях Средиземноморского бассейна в слое 0 – 100 м: \circ – в осенний сезон, \bullet – в летний период

Fig. 14 Zooplankton wet biomass distribution in the Mediterranean basin seas in layer 0 – 100 m: \circ – autumn, \bullet – summer

Уровень сезонных флуктуаций биомасс гидробионтов в слое 0 – 100 м морей Средиземноморского бассейна повышается аналогично СООРЗ – в направлении с запада на северо-восток (рис. 14). Это соответствует сезонным изменениям температуры воды и обилия фитопланктона, как основных факторов, определяющих обилие и пространственную структурированность зоопланктона. При этом наиболее низкие показатели биомасс зафиксированы в зимнее время. Так, осенью наименьшие показатели биомассы зоопланктона ($13 - 18 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$) наблюдались в Эгейском море и в Прибосфорском районе Чёрного моря ($11 -$

$15 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$). В районе западной халистазы в восточной части Чёрного моря были зафиксированы максимальные показатели биомассы зоопланктона ($200 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$). В эвтрофированном районе крымского побережья Чёрного моря также наблюдались высокие показатели биомассы зоопланктона ($230 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$).

В летний период максимальные показатели биомассы зоопланктона ($176 - 186 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$) также наблюдались в северо-восточном и центральном районах Чёрного моря, а наименьшие – в летний сезон ($17 \text{ мг}\cdot\text{м}^{-3}$) в море

Сирта. Невысокие значения биомассы ($22 - 27 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$) отмечены в глубоководных районах Эгейского и Ионического морей, а также в Тунисском проливе. Напротив, соответствующие значениям СООРЗ высокие показатели биомассы зоопланктона наблюдались в море Альборан, а также в Балеарском, Тирренском и Адриатическом морях ($92 - 176 \text{ мг} \cdot \text{м}^{-3}$).

Сопоставив пространственно-временную изменчивость акустических характеристик различных регионов Средиземноморского бассейна с их биологической продуктивностью, фауной ЗРС и гидрологическими параметрами водных масс, мы провели районирование акватории бассейна по следующей схеме:

- Западный регион: море Альборан, Балеарское море, Лигурийское море;
- Центральный регион: Тирренское море, Ионическое море, Тунисский пролив;
- Юго-Восточный регион: море Сирта, море Леванта;
- Северо-восточный регион: Эгейское, Мраморное моря;
- Северный регион: Чёрное море.

Предложенное районирование Средиземноморского бассейна по пяти регионам отражает различный характер динамики пространственно-временной вариабельности и вертикальной структуры ЗРС в каждом из них, позволяет выявить общие закономерности функционирования пелагической экосистемы этого региона (как, например, повышение скоростей миграций ЗРС с запада на восток и с юга на север) и выявить некоторые особенности функци-

онирования планктонных сообществ каждого региона.

Выводы. 1. На основании существенных отличий в параметрах пространственно-временной изменчивости ЗРС проведено разделение бассейна Средиземного моря на пять регионов. Наибольшей динамикой пространственно-временной изменчивости ЗРС отличаются глубоководные районы Средиземноморского бассейна со сложно организованной экосистемой, в частности, с многоступенчатой трофической структурой. Примером таковых является центральный регион (Ионическое море), а также районы с гидрологическими особенностями, обусловленными наличием апвеллингов и фронтальных зон (море Альборан). **2.** Как в прибрежных, так и в центральных районах акваторий выделенных регионов Средиземноморского бассейна амплитуда флуктуаций биомасс мезо- и макрозоопланктона увеличивается от Западного региона к Восточному, а также с юга на север каждого моря. **3.** Доминирующими в фауне высокочастотных ЗРС всех регионов являются 2 группы гидробионтов: ракообразные (копеподы и зуфаузииды) и желетельные (гребневика и медузы). Значительно реже в населении ЗРС встречаются клadoцеры, хетогнаты, сифонофоры и рыбы. **4.** Наблюдается повышение показателей скоростей вертикальных перемещений населяющих ЗРС организмов в направлении от западных к восточным и от южных к северным регионам Средиземного моря.

1. Битюков Э. П., Иванова А. П. Основные черты распределения макропланктона звукорассеивающих слоёв в Средиземном море // Биология моря. – 1978. – Вып. 47. – С. 49 – 55.
2. Битюков Э. П., Осадчий Н. Д. Результаты исследования пространственного распределения звукорассеивающих слоёв в Средиземном море в 1974 г. – Киев: Наук. думка, 1976. – С. 120 – 125.
3. Битюков Э. П., Шайда В. Г. О методике облова фауны звукорассеивающих слоёв разноглубинным тралом / Экспедиционные исследования в Средиземном море в 1974 г. – Киев: Наук. думка, 1976. – С. 125 – 128.
4. Гресе В. Н. Пелагиаль Средиземного моря как экологическая система. – Киев: Наук. думка, 1989. – 198 с.
5. Житковский Ю. Ю., Мозговой В. А. Звукорассеивающие слои в океане (обзор) // Океанология. – 1980. – № 5. – С. 792 – 805.
6. Ковалёв А. В. Структура зоопланктонных сообществ Атлантики и Средиземноморского бассейна. – Киев: Наук. думка, 1991. – С. 21 – 96.
7. Ковалёв А. В. Зоопланктон. 1. Мезозоопланктон / Планктон Чёрного моря. Ковалёв А. В., Финенко З. З. (ред.). – Киев: Наук. думка, 1993. – 280 с.

8. Ковалев А. В., Мельников В. В., Островская Н. А., Загородняя Ю. В. Зоопланктон. 3. Макрозоопланктон / Планктон Чёрного моря. Ковалёв А. В., Финенко З. З. (ред.). – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 183 – 193.
9. Овчинников И. М., Титов В. Б. Основные научные результаты гидрофизических исследований Чёрного моря в свете его современных экологических проблем // ДАН РАН. – 1993. – **330**, № 4. – С. 504 – 507.
10. Павлова Е. В., Африкова С. Г., Делало Е. П., Шеринёв А. Е., Леваишов Д. Е. К вопросу о вертикальных миграциях копепоид в Чёрном и Эгейском морях // Распределение и поведение морского планктона в связи с микроструктурой вод. – Киев: Наук. думка, 1977. – С. 28 – 44.
11. Токарев Ю. Н. Основы биофизической экологии гидробионтов. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2006. – 342 с.
12. Токарев Ю. Н., Василенко В. И., Соколов Б. Г., Жук В. Ф., Слипецкий Д. Я. Метод биофизической экспресс-оценки пространственного распределения и биомассы Антарктического криля // Украинск. Антарктич. журн. – 2004. – № 2. – С. 160 – 169.
13. Токарев Ю. Н., Соколов Б. Г. Гидроакустические характеристики деятельного слоя и их связь с составом и обилием планктона / Ред. А. В. Ковалёв, З. З. Финенко Планктон Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1993. – С. 205 – 215.
14. Токарев Ю. Н., Соколов Б. Г. Влияние физических и биологических факторов на формирование мелкомасштабной структуры биолюминесцентного и акустического полей в Черном и Средиземном морях // Гидробиол. журн. – 2001. – **37**, № 2. – С. 3 – 13.
15. Enright J. T. Copepods in a hurry: Sustained high-speed upward migration // Limnol. & Oceanog. – 1977. – **22**, № 1. – P. 118 – 125.
16. Fielding S., Crisp N., Allen J. T., Hartman M. C., Rabe B., Roe H. S. J. Mesoscale subduction at the Almeria-Oran front Part 2. Biophysical interactions // J. Mar. Systems. – 2001. – **30**. – P. 287 – 304.
17. Foote K. G., Stanton T. K. Acoustical methods // Zooplankton. Methodology. Manual. – Harris R. P., Wiebe P. H., Lenz J., Skjoldal H. R., Huntley M. (Eds.). – San Diego-Tokyo: Acad. Press, 2000. – P. 222 – 258.
18. Frassetto R., Della Croce N. Observation of DSL in the Mediterranean // Bull. Inst. Oceanogr. – 1963. – **65**, № 1344. – P. 16 – 34.
19. Frassetto R., Baskus R. H., Hays E. Sound-scattering layers and their relation to thermal structure in strait of Gibraltar // Deep-Sea Res. – 1962. – **9**, N1. – P. 69 – 72.
20. Iglesias M., Miquel J., Oliver P., Alvarez F. Acoustic surveys in the Spanish Mediterranean shelf (1982 – 1993) // Rapp. Comm. int. Mer. Medit. – 1995. – **34**. – 246 p.
21. Jaffe J. S. Sensing plankton: acoustic and optical imaging // Real-time coastal observing systems for marine ecosystem dynamics and harmful algal blooms: theory, instrumentation and modeling. – Eds. M. Babin, C. S. Roesler, J. J. Cullen. – Valencia: Graphics 3, 2008. – P. 385 – 412.
22. Kils U. The ecoSCOPE and dynIMAGE: microscale tools for *in situ* studies of predator - prey interactions // Archiv fur Hydrob. – 1992. – **33**. – P. 83 – 96.
23. Lakkis S., Toklu B. Contribution to the study of zooplankton community in Iskenderoun bay (north-eastern Mediterranean) // Rapport du 35e Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée. – 2007. – **38**. – P. 527.
24. Mcgehee D. E., Demer D. A., Warren J. D. Zooplankton in the Ligurian Sea: Part I. Characterization of their dispersion, relative abundance and environment during summer 1999 // J. Plankt. Res. – 2004. – **12**. – P. 1409 – 1418.
25. Melnikov V. V. New model of self-closing macroplankton trawl. - In: The second Polish-Soviet Antarctic symposium. - Eds.: R. Z. Klenowski, K. W. Opalinski. – Inst. Ecol. PAS: Publ., 1993. – P. 141 – 143.
26. Multu E. A comparison of the contribution of zooplankton and nekton taxa to the near-surface acoustic structure of three Turkish seas // Mar. Ecol. – 2005. – **26**. – P. 17 – 32.
27. Pinot J. M., Jansa J. Time variability of acoustic backscatter from zooplankton in the Ibiza channel (western mediterranean) // Deep-Sea Res. – 2001. – **I 48**. – P. 1651 – 1670.
28. Tarling G. A., Buchholz F., Matthews J. B. L. The effect of a lunar eclipse on the vertical migration behaviour of *Meganyctiphanes norvegica* (Crustacea: Euphausiacea) in the Ligurian Sea // J. Plankt. Res. – 1999. – **21**. – P. 1475 – 1488.
29. Tokarev Yu. N., Vasilenko V. I., Zhuk V. F., Sokolov B. G., Slipetski D. Ya. Acoustical estimation of the Antarctic krill swarms spatial distribution and biomass // Морск. экол. журн. – 2005. – **1**, №1. – С. 5 – 14.
30. Warren J. D., Demer D. A., Mcgehee D. E., Rossella di mento. Borsani J. F. Zooplankton in the Ligurian Sea: Part II. Exploration of their physical and biological forcing functions during summer 2000 // J. Plankt. Res. – 2004. – **12**. – P. 1419 – 1427.

Поступила 12 февраля 2010 г.

Районування морів Середземноморського басейну за акустичними характеристиками верхнього продуктивного шару. О. М. Сібірцова, Ю. М. Токарев. У результаті аналізу матеріалів експедиційних досліджень ІнБПМ НАН України (1979 – 1999) вивчені просторово-тимчасова мінливість шарів, що розсівають звук (ЗРШ), верхнього продуктивного шару морів Середземноморського басейну і склад гідробіонтів що населяє їх. Проведено районування Середземномор'я на 5 регіонів, які відрізняються за гідроакустичними, гідрологічними і біологічними параметрами. Виявлено, що море Альборан є регіоном з найбільшою вертикальною стратифікацією ЗРШ, тоді як найбільшим діапазоном добових вертикальних міграцій ЗРС відрізняється Іонічне море. Висока добова динаміка звукового розсіювання приповерхневого шару характерна для Чорного та Егейського морів.

Ключові слова: планктон, пелагіаль, міграції, акустичне поле, моря Середземноморського басейну

The Mediterranean basin seas regionalization by acoustic characteristics of upper productive layer. E. N. Sibirtsova, Yu. N. Tokarev. The sound – scattering layers (SSL) spatial-temporary variability and the composition of hydrobionts inhabiting these SSL have been investigated as a result of analysis of acoustic and corresponding biological parameters data base (1979 – 1999). The Mediterranean basin was divided into regions, which have different hydrological, ecological and biological parameters. The region with the most vertical SSL stratification is the west region (Alboran Sea) and the region with the most daily SSL vertical migrations range is the central region (Ionian Sea). The high daily dynamics of subsurface layer acoustic scattering parameters is typical for the Black and the Aegean seas.

Key words: plankton, pelagial, migrations, acoustic field, the Mediterranean basin seas

ВЫШЛА В СВЕТ МОНОГРАФИЯ:

Trophic Relationships and Food Supply of Heterotrophic Animals in the Pelagic Ecosystems of the Black Sea. Editors G. E. Shulman, B. Ozturk, A. E. Kideys, G. A. Finenko, L. Bat. Black Sea Commission Publications 2009, Istanbul, Turkey, 298 p.

Коллективная монография представляет результаты работ украинских и турецких исследователей.

- Суточное пищевое поведение и выедание мезозoopланктона (Ш. Бешиктепе).
- Распределение энергии и особенности развития *Calanus euxinus* (Copepoda) (Л.С. Светличный, Е.С. Губарева).
- Органический состав и экологическая энергетика медузы *Aurelia aurita* (Cnidaria, Scyphozoa) в условиях Черного моря (Б.Е. Аннинский).
- Функциональная роль гребневиков-вселенцев *Mnemiopsis leidyi* и *Beroe ovata* в прибрежных планктонных сообществах (Г.А. Финенко, Б.Е. Аннинский, Г.И. Аболмасова, З.А. Романова, Л. Бат, А.Е. Кидейс).
- Обеспеченность пищей мелких пелагических рыб Чёрного моря (Г.Е. Шульман, В.Н. Никольский, Т.В. Юнева, А.М. Щепкина, О.А. Юнев, З.А. Романова, С. А. Забелинский, Л. Бат, А.Е. Кидейс)

Показано, что состояние главных компонентов пелагической экосистемы Черного моря в настоящее время находится под сильным воздействием экологических факторов (обеспеченности пищей, температуры, эвтрофикации и т. д.). Трофические отношения на различных уровнях экосистемы очень напряжены. Проанализированы различные периоды состояния экосистемы (с 60-х годов прошлого столетия по настоящее время).

Для гидробиологов, ихтиологов, физиологов и биохимиков.

Табл. 1 Региональные характеристики акустических и биологических параметров морей Средиземноморского бассейна
 Table 1 Acoustical and biological regional characteristics of Mediterranean basin seas

Названия морей	Сезон	Год	Время суток	СООРЗ, отн. ед.	Глубина залегания ЗРС, м	Глубина зоны термоклина, м	Фауна ЗРС	Источник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Чёрное море	Май	1991	День	0.3	10 - 40	13 – 40	Копеподы, гребневики	Собств. данные	
			Ночь	-	-		-		
	Сентябрь	1989	День	0.2	10 - 50 и 80 - 100	45 – 50	Копеподы, гребневики		
			Ночь	0.6	10 - 30		Копеподы		
	Октябрь	1989	День	0.4	50 - 100		Копеподы, черноморский шпрот, черноморский мерланг		
			Ночь	0.8	10 - 50		Копеподы		
	1991	День	0.05	20 - 60	40 – 50	Копеподы, гребневики			
		Ночь	0,3	25 - 55		Копеподы, гребневики			
	Май	1991	День	-	-	20 – 30	Копеподы		Собств. данные
			Ночь	0.5	20 - 35		Копеподы, гребневики		
Октябрь	1999	День	-	40 - 60	20 – 35	Копеподы, гребневики	[26]		
		Ночь	-	10 - 25		Копеподы			
Эгейское море	Май	1991	День	0.9	5 - 25	30 – 65	Копеподы	Собств. данные	
			Ночь	0.9	5 - 25		Копеподы		
	Октябрь	1989	День	0.4	250 - 350	14 – 60	Эуфаузииды, миктофиды	Собств. данные	
			Вечер	0.6	40 - 70		Копеподы, эуфаузииды, гребневики		
			Ночь	0.65	10 - 45		Копеподы, кладоцеры, гребневики		
	1999	День	-	Не выражен	20 – 60	-	[26]		
Ночь		-	10 - 50	Копеподы, науплиальные стадии копепоид					
Ионическое море	Апрель	1991	День	0.5	270 - 350	20 – 30	Эуфаузииды, миктофиды	Собств. данные	
			Ночь	0.4	10 - 30		Копеподы.		
	Октябрь	1989	День	0.25	150 - 300	40 – 70	Эуфаузииды, миктофиды		
			Ночь	0.5	15 - 30		Копеподы, кладоцеры, сифонофоры, остракоды		

Продолж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Тунисский пролив	Апрель	1991	День	0.4	10 - 45	Не выра- жен	Копеподы, хетогнаты, аппендикуля- рии, кладоцеры	Собств. данные	
			Ночь	-	-		-		
Тирренское море	Апрель	1991	День	0.15	10 - 20	Не выра- жен	Копеподы. сифонофоры	Собств. данные	
			Ночь	-	-				
Лигурийское море	Апрель	1991	День	-	150 - 300	Не выра- жен	Эуфаузииды	Собств. данные	
			Ночь	0.8	5 - 40 70 - 150		Копеподы Эуфаузииды		
Балеарское море	Июль	1988	День	-	70 - 80	70 - 100	Копеподы	[16]	
			Ночь		30 - 70		Медузы, кладоцеры, сифонофоры, сальпы		
		1991	Утро	0.9	0 - 30		Копеподы. медузы	Собств. данные	
			День	0.6	70-90		Копеподы		
	Октябрь	1998	1998	День	-	350 - 400	75 - 120	Эуфаузииды, сальпы, миктофиды, гоностомиды	[16]
				Ночь	-	0 - 220		Эуфаузииды, сальпы, миктофиды, копеподы	
		Декабрь	1998	День	-	30 - 100	Не выра- жен	Копеподы, эуфаузииды	
				Ночь	-	0 - 60		Копеподы	
Море Альборан	Июль	1991	День	0.4	50 - 100	40 - 60	Копеподы. эуфаузииды	Собств. данные	
			Ночь	0.7	10 - 40		Копеподы		
	Ноябрь	1996	1996	День	-	100 - 150	50 - 70	Хетогнаты. кладоцеры	[16]
						200 - 300		Эуфаузииды. декаподы	
				Ночь	-	400 - 500		Циклотоны, миктофиды	
						100 - 150		Хетогнаты, личиночные стадии эуфаузиид	
70 - 200	Эуфаузииды, миктофиды								
400 - 500	Циклотоны								