

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по океанология „Проф. Фритъф Нансен“

инж. Веселка Маринова Маринова

**ХИДРОАКУСТИЧНА АПАРАТУРА И МЕТОД ЗА
ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЧЕРНОМОРСКАТА БИОТА
АВТОРЕФЕРАТ**

на

ДИСЕРТАЦИЯ

за придобиване на образователна и научна степен

„Доктор“

По област на висше образование:

шифър 4. „Природни науки, математика и информатика“

Професионално направление: шифър 4.4. „Науки за земята“

Научна специалност: шифър 01.08.07 „Океанология“

Научен консултант:

Доц. д-р инж. Васил Донев ИО-БАН

Варна
2014 г.



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Океански технологии“ към Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“ на Българска Академия на Науките, състояло се на 15 юли 2014 г.

Дисертацията е разработена в рамките на докторантура на самостоятелна подготовка в секция „Океански технологии“ към Институт по океанология - БАН.

Представеният дисертационен труд е с обем от 136 страници текст, съдържа 4 глави, 30 фигури, 13 таблици и 3 приложения. Списъкът на цитираната литература включва 147 заглавия, от които 17 на кирилица и 130 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 21.10.2014 г. от 15.00ч. в заседателната зала на Института по океанология при БАН на ул. „Първи май“ № 40, на открито заседание на петчленно Научно жури в състав:

1. Проф. д-р инж. Атанас Василев Палазов (ИО-БАН, Варна)
2. Проф. д-р Иван Стоянов Доброволов (ТУ, Варна)
3. Доц. д-р инж. Васил Стефанов Донев (ИО-БАН, Варна)
4. Доц. д-р инж. Николай Колев Колев (ВВМУ, Варна)
5. Доц. д-р инж. Цвятко Георгиев Лилев (ВСУ, Варна)

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“, Варна, ул. „Първи май“ № 40.

Благодарности

Изказвам своята искрена благодарност на ръководителя на секция „Океански технологии” и настоящ директор на ИО-БАН, проф. д-р инж. Атанас Палазов за доверието в мен и подкрепата по време на творческата ми работа по дисертацията

Благодаря на моя научен консултант доц. д-р инж. Васил Донев за помощта и ценните съвети

Отправлям изключителни благодарности към гл. ас. д-р Марина Панайотава без прякото участие на която, изследванията представени в работата нямаше да могат да се състоят.

Благодаря най-сърдечно на гл. ас. Кремена Стефанова за топлото отношение, подкрепата, препоръките и помощта при интерпретацията на данните.

Бих искала да изкажа специални благодарности на проф. д-р Мончева за креативните дискусии и напътствия

УВОД

Успоредно с разширяването на дейностите, свързани с овладяването на ресурсите на Световния океан, възниква и проблемът за неговото опазване и възпроизводство. Нарастващото с тревожни темпове замърсяване на моретата и океаните доведе до съществени изменения в техните екологични особености и биологичната им продуктивност. Наложил се е необходимостта от разработването на нови инструментални методи за биомониторинг на морската среда, каквито са хидроакустичните, разрешаващата способност, а също така и тяхното бързодействие да бъдат адекватни на скоростта на протичащите в изучаваната екосистема процеси и резултатите, от които да носят универсален характер в качеството на показател за структурата на изследваната биоценоза и нейното физиологично състояние.

Развитието на хидроакустичния метод (ХАМ), се явява резултат от интензивни експериментални изследвания, разработки и внедряване на нови акустични прибори и методи за събиране и обработка на хидроакустичните данни, методики за провеждане на хидроакустични снимки. Усъвършенстването на метода и техническите средства за неговата реализация интензивно продължава, което се дължи основно на актуалността на решаваните с този метод проблеми. Неговата точност расте преди всичко за сметка на подобряване на апаратните средства, а именно научни ехолоти и компютърни системи за обработка на хидроакустичните сигнали. Тези постижения в областта на хидроакустичните технологии са позволили през последните години ХАМ да се прилага активно за оценка на количеството не само на рибите, но и на други морски организми, като зоопланктона.

Актуалността на решаваната задача се определя и от включването на трално-акустичната снимка като метод за оценка на запасите на експлоатируемите в стопанско отношение видове риби в Черно море и изследване на качествения и количествен състав на хранителния зоопланктон в националната програма за рибарство и аквакултури (НПРА) - стратегически документ очертаващ рамката на развитието в сектор "Рибарство" за периода до 2007-2013 и новата Програма за морско дело и рибарство 2014 -2020 г.

Глава 1 Анализ на състоянието на проблема

Направен е обзор на съвременните хидроакустични измервателни средства за морски биологични изследвания. Въпреки, че те имат различни практически приложения, два конкретни въпроса трябва да бъдат подчертани: оценяване на биомасата на рибите (Gunderson, 1993) и зоопланктона и получаване на детайлна информация за разпределението им в пространството и времето с цел подпомагане на управлението на рибните запаси и опазване на морските екосистеми (Simmonds and MacLennan, 2005).

За акваторията на Черно море, ХАМ се използва основно за оценка на рибните запаси и то по-активно до 2000 г. Трално-акустични снимки по

западното крайбрежие на Черно море, включително България, са проведени само в периода 1984-1991 г.

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящата работа е изследване на разпределението на пелагичните видове риби и зоопланктон, като основни компоненти на черноморската биота, чрез използване на хидроакустична апаратура и прилагане на метод за оценка на количествените характеристики

За постигане на поставената цел са формулирани следните основни задачи на изследването:

1. Разработване на методика за провеждане на хидроакустични изследвания за оценка на разпределението и биомасата на пелагичните видове риби с научна хидроакустична система
2. Провеждане на хидроакустични изследвания за оценка на разпределението и биомасата на пелагичните видове риби и зоопланктона в акваторията на Черно море
3. Разработване на универсален подход за определяне на биомасата на струпвания от различни по вид и размери риби
4. Разработване на алгоритъм за разграничаване на зоопланктона от рибите, който да позволи идентификация и определяне на биомасата на зоопланктона
5. Оценка на запасите от пелагичните видове риби чрез прилагане на хидроакустичен метод

Глава 2 Хидроакустичен метод за оценка на разпределението и биомасата на рибните и зоопланктонни концентрации

В първа глава на дисертационния труд са изложени теоретичните основи на хидроакустичния метод (ХАМ) на основата на принципите на морската реверберация.

Описани са основните етапи на методиката за количествена оценка на морската биомаса на основата на хидроакустични изследвания.

Представено е математическо описание на двата основни подхода при хидроакустичната количествена оценка: ехо-броене и ехо-интегриране. Методът ехо-интегриране е използван за основа, при разработването на ХАМ за количествена оценка на рибите и зоопланктона в настоящата работа.

Разгледани са основните етапи на методиката за количествена оценка на морската биомаса, основана на провеждането на хидроакустична снимка (ХАС).

Точността на крайните резултати се определя от всеки от етапите и всеки от тях е разгледан в тази глава. Инструменталните средства, използвани при

ХАС и на етапа на обработка на хидроакустичните данни, също имат съществено значение за точността на оценката на биомасата. Особено важни са метрологичните характеристики на научноизследователския ехолот, като източник на измерените данни и към него се предявяват определени изисквания за диапазона на откриване на целите и висока разрешаваща способност. В главата са изложени параметрите на научния ехолот и неговите основни елементи, влияещи на техническите му характеристики. Обработката на хидроакустичните данни се извършва, като правило, след завършване на ХАС с използване на специализирани компютърни системи за обработка, наречени постпроцесингови системи (ППС). Направен е и кратък обзор и описание на съвременните ППС.

Представени са основните математически модели, използвани при построяване на карти на разпределението на плътността на рибните струпвания и оценка на биомасата: детерминистични, основани на описание на данните с някаква математическа функция и не отчитащи вътрешната структура; геостатистически, отчитащи пространствената корелация на данните за подобряване на пространствената оценка и интерполация.

За количествената оценка на рибната биомаса са необходими данни за силата на целта (TS) на изследваните обекти. Показана е важноста на този параметър, явяващ се основен при извършване на оценката, и влиянието на средата на обитание, морфологията на рибите и честотата на ехолота върху неговата стойност. Понастоящем, в научната литература широко са представени зависимости за различни видове риби, но няма такива за акваторията на Черно море, публикувани в научни издания. Именно затова актуалността на определянето на техните разсейващи свойства е очевидна и на този въпрос са посветени изследванията в трета глава.

Представени са и двата основни подхода, използвани при оценката на количествените характеристики на зоопланктона. Първият подход съчетава паралелни акустични и биологични измервания и изчислителни методи (акустични модели) за валидиране на акустичните данни, т. нар. “права задача” (Greene *et al.*, 1998; Malinda Sutor and Timothy Cowles, 2005). Другият подход, наречен “обратна задача”, прилаган при определяне на обилието и осигуряващ допълнителна информация за структурата на изследваните популации, използва данни от хидроакустични измервания на две или повече честоти (Johnson, 1977; Greenlaw, 1979, Greenlaw and Johnson, 1983; Pieper and Holliday, 1984; Holliday *et al.*, 1989; Madureira *et al.*, 1993; Stanton *et al.*, 1994; Tarling *et al.*, 2002; Ciekals, 2011).

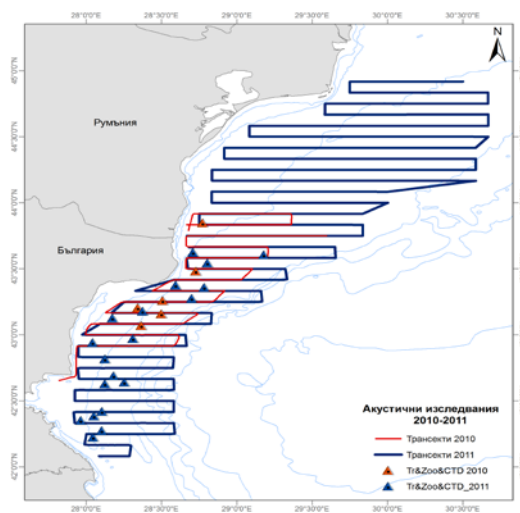
Глава 3 Материал и методи

3.1 Район на изследвания

Оценката на количествените характеристики и пространствено разпределение на пелагичните риби и зоопланктона в Черно море чрез прилагане на хидроакустичен метод се основава на данни за периода 2010-

2011г. Хидроакустичните измервания са извършени в хода на две научноизследователски експедиции с НИК "Академик", проведени в Западната и Северозападната части на Черно море през есенно-зимния сезон. В Таблица 3.1.1 са представени районите, техните географски координати и времевите периоди на изследванията.

Хидроакустичните експедиции през 2010 и 2011 г. са извършени в изпълнение на Националните програми за събиране на данни на България и Румъния, по поръчка на Националните агенции по рибарство и аквакултури на двете страни (ИАРА). Двете изследвания включват континенталния шелф и континенталния склон до 1000 m дълбочина (Фиг. 3.1.1).



Фиг 3.1.1. Район и схема на хидроакустичните изследвания

Методиката за провеждане на хидроакустичните изследвания е разработена на основата на анализа представен в Глава 2., Раздел 2.2 и препоръките на работната група MEDIAS WG (Mediterranean Acoustic Surveys Working Group).

Методиката за количествена оценка на морската биомаса включва четири основни етапа:

- планиране на хидроакустична снимка,
- калибриране на апаратурата,
- провеждане на хидроакустична снимка,
- обработка на хидроакустичните данни, събрани по време на

хидроакустичната снимка за количествена оценка на биомасата и построяване на карти на нейното разпределение.

3.2 Схема на хидроакустичните изследвания

Хидроакустичните изследвания са проведени по схема от паралелни профили с равни разстояния от 5 nm между тях, ориентирани от запад на изток, перпендикулярни на паралела на бреговата ивица (Фиг. 3.1.1) и с произволно стартово място. Схемата е адаптирана към особеностите на пространственото разпределение на дребните пелагични видове в Черно море, както и към особеностите на подводния релеф. Този дизайн позволява „най-точна оценка на биологичните количествени характеристики", особено ако е важно да се определи тяхното географско разпределение (Simmonds and MacLennan, 2005).

Таблица 3.1.1 Характеристики на хидроакустичните изследвания 2010-2011.

Хидроакустични изследвания 2010-2011	Западна част на Черно море (България) 06-13.12.2010	Западна част на Черно море (България) 15.11-23.11.2011	Северозападна част на Черно море (Румъния) 26.11-06.12.2011
Хидроакустична система EK60, Simrad	38,120,200 kHz	38,120,200 kHz	38,120,200 kHz
Географски координати	42° N ; 43°35' N 28°00' E, 29°30' E	42° N, 43°35' N, 28°00' E, 29°30' E	43°75' N, 44° 9' N, 28°68' E, 30°49' E
Обща дължина на профилите	762 nm	965 nm	415 nm
Площ на районите	1525 nm ²	2846.5 nm ²	4426 nm ²
Брой часове, хидроакустични записи	192	216	264

3.3 Биологично пробонабиране

3.3.1 Ихтиопланктонни проби

Ихтиологичните проби са набирани чрез използването на пелагичен трал, конструиран за научно-изследователски цели, с големина на „окото” на мрежата от 5 mm. Тралиранията са извършени със скорост от 3.0 - 3.3 възла, при което се постига вертикално разкритие от 20 - 30 m. Продължителността на тралиране е фиксирана на 30 min. След всяко едно от тралиранията, са събирани проби от всеки вид за определяне на размерно-възрастовата структура и изготвяне на ключове възраст – дължина за целевите видове. От целевите видове са събирани проби за определяне на възраст при лабораторни условия.

3.3.2 Зоопланктонни проби

Зоопланктонните проби са събрани от различни дълбочинни хоризонти с вертикална планктонна мрежа тип „Джеди” с площ на входния отвор 0.1 m² и газ с апретура 200 μ m. Преди фиксирането на пробите желатиновите видове (*Aurelia aurita*, *Pleurobrachia pileus*, *Mnemiopsis leidyi*, *Beroe ovata*) се отстраняват, измерват и преброяват на борда на кораба. Пробите се фиксират с 4 % разтвор формалдехид буфериран до pH 8-8.2 с боракс (Na₂B₄O₃ · 10 H₂O) (Korshenko&Aleksandrov, 2006).

Видовият състав на зоопланктона се идентифицира по определители за Черно и Азовско море (Мордухай - Болтовски и съавтори, 1968), а количеството на мезозоопланктона се определя по методика на Димов (1959). За изчисляване на мезозоопланктонната биомасата се използват „Таблицы на стандартните индивидуални тегла” (Петипа, 1959).

3.4 Океанографско пробонабиране

Следните океанографски параметри са измервани след всяко едно трaлиране: температура и соленост на морската вода по дълбочини (CTD сонда).

3.5 Хидроакустични измервания

Хидроакустичните измервания са извършени с научна хидроакустична система, състояща се от три ехолота (SIMRAD EK60) конфигурирани с трансдюсери с разцепен лъч (split beam) Simrad ES38B, ES120-7C и ES200-7C, съответно работещи на честоти 38,120 и 200 kHz. Софтуер Simrad ER60 (Version 2.2.0) е използван за първоначална настройка, управление на процеса на измерване, визуализиране и запис в реално време на измерените ехосигнали и съхранение на суровите акустични данни във файлове EK60 формат (*. raw). Всеки *. raw файл съдържа: техническите параметри на системата по време на измерванията (честота, излъчена мощност, дължина на импулса, усилване, калибрационна константа и др.), навигационни данни, дълбочина, температура, скорост на звука, стойности на коефициента на поглъщане и измерените стойности на мощността на приетите ехо-сигнали за всеки честотен канал поотделно.

3.5.1 Калибриране на хидроакустичната система

Хидроакустичната система е калибрирана по стандартна методика (SIMRAD, 1996). Преди започване на калибрационната процедура, скоростта на звука ($m.s^{-1}$) и коефициента на поглъщане ($dB.m^{-1}$) са изчислени от стойностите за температурата и солеността на морската вода, измерени със CTD сонда. Тези стойности са въведени в софтуерната програма ER60, която управлява процеса на калибриране на хидроакустичната система и те остават постоянни за целия период на изследването.

След това, последователно са калибрирани трите честотни канала с помощта на еталонни, калибрационни сфери на фирмата Simrad.

Калибрационният коефициент за величината NASC (s_A) се определя от:

$$K = \frac{1}{10^{\Delta G/5}}$$

$$\Delta G = \text{Calibrated } S_v \text{ TransducerGain} - \text{Default } S_v \text{ TransducerGain}$$

Калибрационният коефициент за величината S_v се определя от:

$$K = 10 \log_{10}(s_A \text{ correction factor})$$

3.5.2 Измерване на шума

Нивото на шума е измерено при пасивен режим на работа на хидроакустичната система, в съответствие с процедурите описани в техническото ръководство на фирмата Simrad (2008) и след това е изчислена максималната дълбочина за регистриране на биологичните цели (Mitson and Knudsen, 2003).

3.5.3 Измерване на силата на целта TS *in situ*

По време на контролните тралирания са извършени измервания на силата на целта TS в цялата водна колона, чрез използване на научна хидроакустична система с антени с разцепен (split beam) лъч EK60 и софтуер ER60 (Simrad, Норвегия) и с помощта на тралов хидролокатор Simrad FS-70 (ITI Trawl Eye net sound). Технологията split beam позволява измерване на TS *in situ* от единични цели и тългите на тяхното положение спрямо вертикалната ос в акустичния лъч на антената в надлъжно (alongship) и напречно (athwartship) направление. Всяка регистрирана цел е коригира относно нейната позиция в акустичния лъч.

Дълбочината на тралване и вертикалното разкритие на трала са контролирани чрез Simrad ITI системата за наблюдение на трала. Слойт на тралване се визуализира на акустичната ехограма по време на измерванията с ехолота и на монитора за наблюдение на тралната система.

3.6 Обработка на акустичните данни

Количествената оценка на биомасата на хидробионтите е основана на хидроакустичния метод за количествена оценка – ехо-интегриране.

Обработката на данните е извършена с помощта на пакет от програми, разработени на MATLAB® (MathWorksTM, Natick, Massachusetts, USA), софтуерна среда за числов анализ и самостоятелен програмен език от четвърто поколение.

Процесът на обработка включва следните основни етапи:

3.6.1 Предварителна обработка на данните

Предварителната обработка на данните включва: синхронизиране да данните, измерени от трите честотни канала; изчистване на шума и преобразуване на измерената акустична мощност $P_r(W)$ в акустичната величина S_v (сила на обемно обратно разсейване).

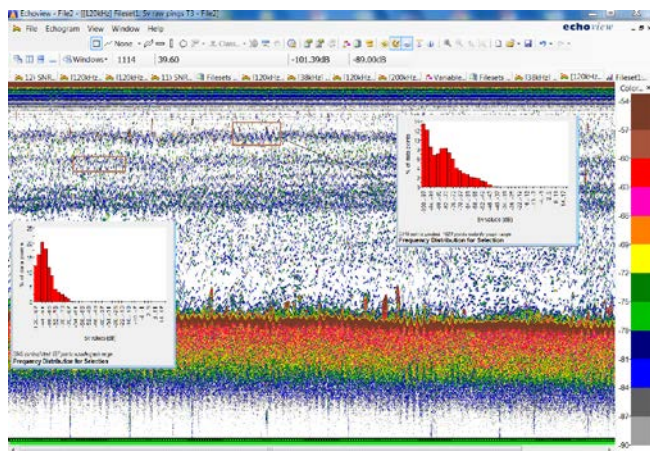
3.6.2 Алгоритъм за автоматична селекция на ехо-сигналите на основата на измервания на три честоти

Хидроакустичната система регистрира ехосигналите от всички намиращи се във водната колона биообекти по време на измерванията. Тези сигнали се визуализират на акустичната ехограма, като всеки отделен вид разсейвател (или група разсейватели) има изображение с характерна форма, наречено „ехоследа” и ефективност на разсейване S_v (представена посредством цветна

градация) в зависимост от акустичната честота (Фиг. 3.6.2). Следователно, за да се получи обективна и точна оценка на количествените характеристики и пространствено разпределение на пелагичните риби и зоопланктона, обект на изследванията представени в дисертационния труд, трябва ехосигналите измерени от тези две категории организми да бъдат разделени и обработени по отделно.

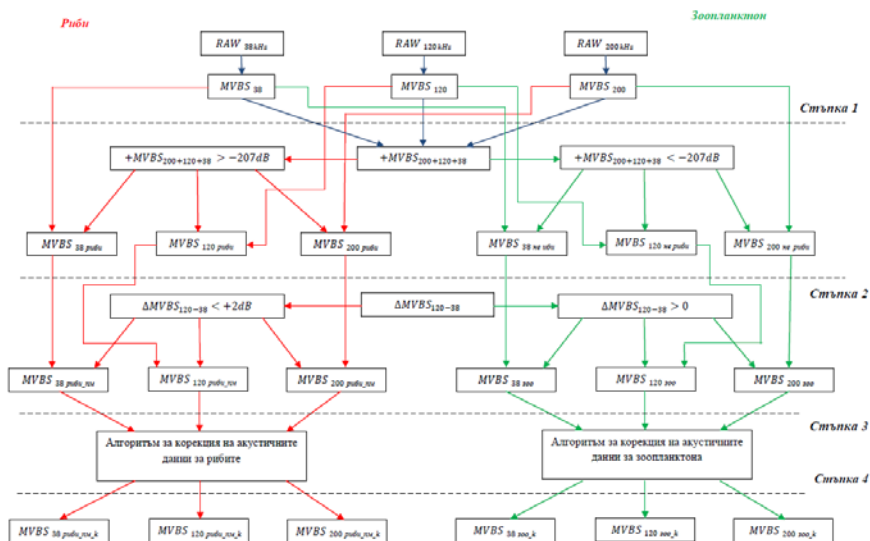
За целта е разработен алгоритъм за автоматична селекция и идентификация на сигналите. Той е основан на подходите, предложени от авторите Fernandes *et al.* (2006), Korneliussen and Ona (2003) и Ballon *et al.* (2011) за разграничаване на различни групи морски разсейватели с помощта на комбинации между данни, измерени с научен ехолот на различни честоти.

Алгоритъмът за автоматична селекция и идентификация на сигналите комбинира сумата $(+MVBS(S_{v200+120+38}) = S_{v200} + S_{v120} + S_{v38})$ и разликата $(-MVBS(S_{v120-38}) = S_{v120} - S_{v38})$ на осреднените стойности на силата на обемно обратно разсейване, измерени на честоти 38, 120 и 200kHz. Хипотезата тук е, че вероятностните разпределения на сумата +MVBS и разликата -MVBS представляват също сигнали и информацията в тези сигнали осигуряват акустична сигнатура, която може да се използва като вид идентификатор.



Фиг. 3.6.2 Характерни записи на ехосигнали от рибни пасажи и струпвания от зоопланктон (ЗРЦ), и хистограми на разпределението на Sv (риби в дясно на ехограмата и зоопланктон – в ляво), регистрирани с EK60 в българската акватория на Черно море.

Блок схемата на алгоритъма е показана на Фиг.3.6.3, обобщени са основните стъпки в алгоритъма.



Фиг. 3.6.3. Алгоритъм за автоматично разпознаване и разграничаване на рибѝте и зооплактонѝ.

За програмната реализация на алгоритъма е използван компонента за цифрова обработка и анализ на изображения (Image Processing Toolbox) на MATLAB. Процесът обединява три техники: обработка на акустичните данни (алгебрични операции събиране, изваждане), морфологична филтрация и прагов критерий. Морфологичните филтри (дилатация и ерозия) са методи за обработка на изображения, използвани за селективно извличане или подтискане на определени структури в тях (Haralick and Shapiro, 1992). В алгоритъма се прилага морфологичния оператор дилатация (dilation, експандиране), като се използва предварително структуриран елемент, към ехо-изображението. Структурният елемент е матрица с размери 3x3 и се дефинира като плъзгащ прозорец с анализирания централен пиксел. Този морфологичен филтър може да се визуализира като увеличаване стойността на пиксела заобиколен от пиксели на по-високо ниво, до ниво на заобикалящите го пиксели.

В резултат на прилагането на този алгоритъм се получават три масива с акустични данни „риби“ (38 kHz), „зооплактон с големи размери“ (120 kHz) и „зооплактон с малки размери“ (200 kHz). Звукоразсейващите слоеве в Черно море са доминирани от копеподи (калануси $> 2mm$), сагити (*S. Setosa*) и желеобразен макрозооплактон (медузи и ктенофори, 2-20cm) (Mutlu, 2006).

След класифицирането на ехосигналите: риби (38 kHz), зооплактон (120 и 200 kHz), стойностите на силата на обемно обратно разсейване (S_v) са

преобразувани в милев коефициент на повърхностно разсейване (NASC, $\text{m}^2 \cdot \text{nm}^{-2}$), индекс на обилието, в съответствие с израза:

$$s_A(\text{NASC}) = 4\pi(1852)^2 \cdot s_v \cdot D \quad (3.6.1)$$

където: $s_v = 10^{(S_v/10)} (\text{m}^{-1})$, акустичният индекс на обилието, е линеен еквивалент на (S_v, dB) , D е диапазон на интегриране по дълбочина, а в хоризонтално направление данните са осреднени за единица разстояние (EDSU) 0.1 nm – зоопланктон и 1 nm – риби (1 морска миля, 1852 m). Диапазонът на интегриране по дълбочина за рибите е 10 m , а за зоопланктона 1 m .

3.7 Дву-честотен метод за определяне на биомасата на зоопланктона

За количествената оценка на зоопланктонните струпвания е използван метод основан на разликата $\Delta S_v(f_1, f_2)$ между акустични данни, измерени на две честоти (Greenlaw, 1979). Използвани са акустичните данни измерени на честотите 120 kHz и 200 kHz и получени след прилагането на алгоритъма, описан по-горе. При използването на този метод са валидни следните предположения – един размерен клас организми доминира в акустичното разсейване, но размерът е неизвестен или може да варира в пространството; ако моделът, описващ звуко-разсейването от зоопланктерите е известен, могат да бъдат определени едновременно средния размер и числеността на организмите от акустичните измервания на правилно избраните честоти. Приема се, че акустичната енергия разсеяна в обратно направление от един организъм е подобна на тази, произведена от флуидна сфера с еквивалентен сферичен радиус ESR (equivalent spherical radius), такъв, че обеми на сферата и планктера са еднакви - $\sigma \sim \text{ESR}^3 \sim V$ (Holliday and Pieper, 1995; Holliday *et al.*, 1989; Pieper and Holliday, 22 1984; Pieper *et al.*, 2001; Stanton and Chu, 2000). Следователно, биологичният размер на зоопланктера трябва да се разбира като радиус на флуидна сфера – ESR, определен от акустичните данни.

За да се изчисли радиуса на сферата, е използван моделът на Джонсън – „fluid sphere high-pass model” (Johnson, 1977). ESR е изчислен от израза:

$$(ka)^4 = \frac{2}{3} \left[\frac{r^4 - R}{r^4(R - 1)} \right] \quad (3.7.2)$$

където $k = \frac{2\pi f_m}{c}$, $r = \frac{f_1}{f_2}$, $R = 10^{(S_{v1} - S_{v2})/10} = \frac{s_{A1}}{s_{A2}}$, a е радиус на сферата (m), c е скорост на звука ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), $f_m = \sqrt{f_1 \times f_2}$ (Hz), $f_1 = 200 \text{ kHz}$ и $f_2 = 120 \text{ kHz}$ са акустичните честоти.

Напречното сечение на обратно разсейване σ_{bs} на сферата е изчислено от (Greenlaw, 1979):

$$\sigma_{bs} = \left[\frac{1 - gh^2}{3gh^2} + \frac{1 - g}{1 + 2g} \right]^2 a^2 \left[\frac{2(ka)^4}{2 + 3(ka)^4} \right] \quad (3.7.3)$$

където $g = 1.12$ и $h = 1.09$ (Holliday, 1992) .

Броят на индивидите N_f (ind. m⁻³) за единица обем е изчислен от:

$$N_f = 10^{(S_v(f) - TS)/10} \quad (3.7.4)$$

където $TS = 10 \log(\sigma_{bs})$.

Биообемът (biovolume) (mm. m⁻³) на зоопланктонните организми е получен като броя на организмите (ind. m⁻³) е умножен по обема на сфера с радиус a (ESR, mm). Обемът на сферата е изчислен от: $V = 4/3\pi a^3$.

Средната плътност в мокро тегло (WW, mg. m⁻³) на зоопланктона е изчислена от регресионната зависимост между тази величина и биообема (Wiebe *et al.*, 1975; Wiebe, 1988):

$$\log(B_v) = 0.139 + 1.003 * \log(WW) \quad (3.7.5)$$

където B_v е биообем на зоопланктона (mm³. m⁻³) в изследвания воден слой.

Интегрираният биообем е получен като за единица разстояние 0.1 m средната плътност е умножена по височината на водния слой.

За да се сравнят резултатите от акустичните измервания и биологичните данни от планктонните мрежи, биомасата определена от биологичните проби е преобразувана също в биообем посредством зависимост (3.7.5).

3.7.1 Валидиране на дву-честотния метод

За валидирането на метода са използвани биологичните данни събрани по време на хидроакустичното изследване през 2011г. в българската акватория на Черно море.

Сравнени са вертикалните разпределения (по дълбочина) на акустичния биообем и обилието на зоопланктона определен от биологичните проби, взети с планктонна мрежа по време на изследването. Също така интегрираното обилие (0-100m) на зоопланктона е сравнено с интегрирания акустичен биообем на хидробионтите. Използвани са данните от акустичните измервания, извършени по време на биологичните пробонабирания на всяка планктонна станция.

3.7.2 Хоризонтално разпределение на зоопланктона

За определяне на хоризонталното разпределение на зоопланктона е използван геостатистическият метод кригинг. Геостатистическата интерполация е извършена с модула за геостатистически анализ и моделиране на пространствени данни (ArcGIS Geostatistical Analysis) на ArcGIS9.3, (ESRI Corporation, Redlands, CA, USA), ГИС софтуер за визуализиране, управление, създаване и анализ на геореферирани информация.

3.8 Зависимост TS – L

За преобразуване на измерените стойности на коефициента на повърхностно разсейване s_A в рибни концентрации (плътност) е необходим акустичния параметър сила на целта TS (σ_{bs}).

Силата на целта TS може да се определи по два начина: да се изчисли от модели TS–L за целевите видове, по литературни данни, или на основата на *in situ* измервания.

Зависимостта на TS от размера на рибата L_T (обща дължина на рибата) се представя като $TS_i = b_i \log_{10}(L_T) + a_i$, където: a_i и b_i са коефициенти зависещи от вида на рибата и акустичната честота.

По време на хидроакустичните изследвания, представени в настоящата работа, са извършени измервания на TS *in situ* по време на контролните тралирания и данните измерени на 38 kHz са използвани за определяне на тази функционална зависимост за черноморската трикона.

Използваният подход при определяне на зависимостта TS–L е разработен от Ermolchev (2006,2008). Този метод позволява оценка на $\overline{TS}$ за риби с малки и средни размерни класове, например от 5 до 70 cm обща дължина.

Методът включва три основни етапа: измерване, обработка на акустичните и биологичните данни от контролните тралирания и прилагане на регресионен анализ.

3.9 Изчисляване на биомасата на едновидови струпвания риби

Предложен е подход за изчисляване на биомасата от рибни концентрации формиращи от един вид риби с подобни размери. Размерният състав се определя от биологичните улови. В изчисленията са включени следните стъпки:

1. Определят се координатите на всяка изчислена стойност на милния коефициент на разсейване получен от акустичните измервания след филтриране на нерибните струпвания s_A ;
2. Преизчисляване на s_A в стойности на повърхностна плътност ρ : $\rho_{ai} = s_{Ai} / 4\pi\sigma_{bs}$ (ind.nm⁻²), където: σ_{bs} е напречно сечение на разсейване (m²) и се определя от $TS = 10\log(\sigma_{bs})$.
3. Преизчисляване на повърхностната плътност в маса (стойност на рибната биомаса за единица площ) по формулата: $\rho_{ai} = \rho_{ai}W$ където: W е тегло на рибата (kg).
Повърхностната плътност се измерва в тонове на квадратна морска миля (t.nm⁻²).
4. Създаване на карта на разпределението на плътността на струпванията чрез геостатистически метод (метод на локалния полином или метод на изолиниите) и определяне на биомасата.

Размерността на повърхностната плътност трябва да съответства на размерността на акваторията, например, ако площта се измерва в морски мили, то и плътността се измерва в килограми или тонове на квадратна миля.

3.10 Изчисляване на биомасата на многовидови струпвания риби

В природата е невъзможно да се срещнат струпвания, състоящи се от риби с един размер. Много рядко се улавят струпвания от един вид. Затова в реална ситуация се интегрират ехосигнали от многовидови струпвания, състоящи се от риби с различни размери. Обработката на хидроакустичните данни с отчитане на резултатите от биологичния анализ на уловите от контролните тралирания позволява да се оцени биомасата по видове, а също така и по размерни, а следователно, и по възрастови групи.

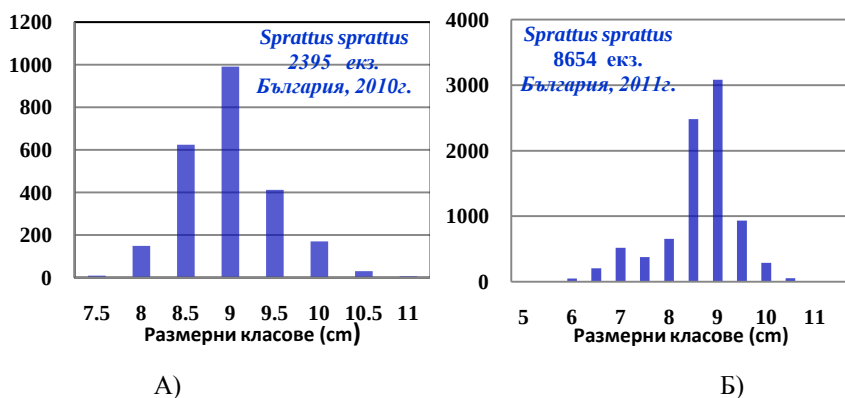
Глава 4 Резултати

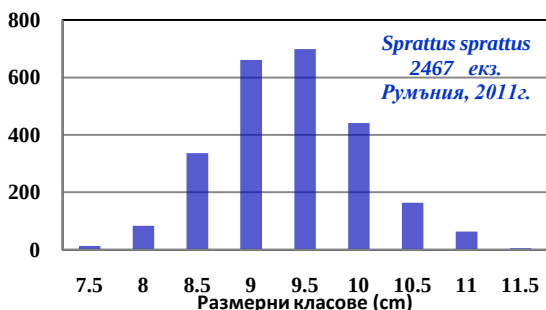
4.1 Хидроакустична оценка на разпределението и биомасата на рибите

4.1.1 Кратък обзор на биологичните данни

По време на акустичните изследвания през периода 2010-2011г. са извършени общо 39 контролни тралирания, от които 24 в българската и 15 в румънската акватории на Черно море. Общият улов в българската акватория по време на изследванията възлиза съответно на 4695 kg през 2010г. и 5701 kg - 2011г. Целевите видове риби са трикона, меджид и сафрид. В резултат от контролните тралирания е установено, че в 89.47% от траловете, уловите са моноспецифични и са съставени от над 75-80% трикона.

Размерната структура на триконовите улови от различните тралирания е представена на Фиг. 4.1.1.1.





Фиг. 4.1.1.1 Размерна структура на триçonата (*Sprattus sprattus*) от различните трaлирания, акустични изследвания А) 2010г. , Б) и С) -2011г.

Размерната структура на уловите от триçonа по време на акустичните изследвания през периода 2010-2011г. включват риби с общи дължини между 5 и 11.5 cm. За българската акватория на Черно море е установен максимум в числеността на рибите от размерен клас 9 cm, а за румънската – 9.5 cm. Средната дължина на рибите от всички трaлирания в българската акватория е изчислена на 9.25 cm и 8.59 cm, съответно за 2010 и 2011г., а за румънската – 9.2 cm, 2011г.

Меджидът е регистриран в 11 от общо 19 трaлирания в българската акватория на Черно море през 2011г. Основната част от индивидите имат дължини между 11 и 14 cm. Средната дължина на меджида, изчислена за целия улов, възлиза на 12.46 cm. Черноморски сафрид е регистриран само в 4 от общо 19 трaлирания по време на изследванията в българската акватория през 2011г. Средната дължина на рибите в улова е 9.67 cm.

4.1.2 Регресионен модел TS - L за черноморската триçonа

TS измервания са проведени по време на всички контролни трaлирания на честота 38 kHz. Уловите от контролните трaлирания са моноспецифични и са съставени от над 75-80% триçonа. Двадесет от всички извършени трaлирания през периода 2010-2011г., в българската и румънска акватории на Черно море, имат висок дял на триçonа (80-97%) в улова. Ехограмите записани на тези станции са избрани за анализа на TS. Деветнадесет (от общо 39) станции са изключени поради ниското качество на биологичните данни (по-високо процентно участие на други видове в уловите) и проблеми при хидроакустичната регистрация на целевия вид.

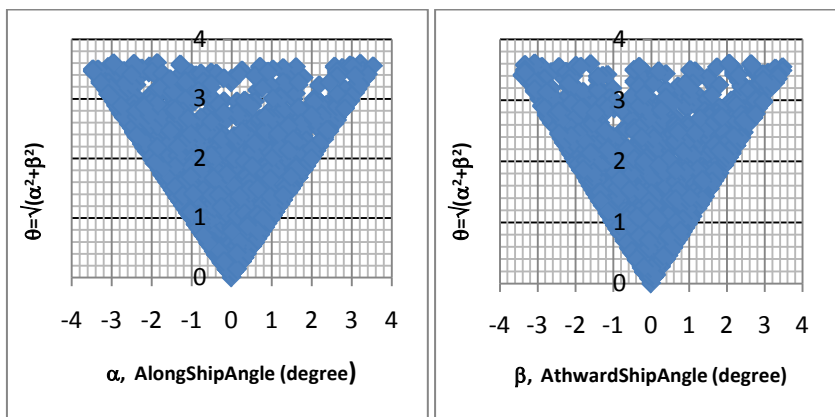
Останалите целеви видове риби не са достатъчно представени в уловите, което не позволи определяне на стойностите на силата на целта от измерените акустични данни с достатъчна точност.

В резултат на обработката на избраните ехограми посредством специализирания софтуер LSSS са получени TS стойностите на регистрираните единични рибни цели (TS-компенсирана (TSc) и TS-некомпенсирана (TSu)), стойностите на ъглите α (ъгъл на позицията на целта относно вертикалната ос в акустичния лъч в надлъжно направление, along-ships angle) и β (ъгъл на позицията на целта относно вертикалната ос в акустичния лъч в напречно направление, athward-ships angle), дълбочината, времето и географските координати. TS стойностите (коригирани по местоположение спрямо вертикалната ос на акустичния лъч) са с точност до 0,1 m и 0,1 dB за всяка цел, която отговаря на определените критерии (Глава 3, Параграф 3.9.1, Таблица 3.9.1). Критериите са избрани, така че алгоритъмът да допуска цели с еходължини между 0,8 и 1,8 пъти дължината на импулса, фазово отклонение от 6 стъпки и максимална компенсация на усилването от 6 dB (Simrad, 1996). Резултатите от калибрирането показват, че влиянието на ъгъла на лъча върху стандартната цел е описано добре от приложената пространствена диаграма на насоченост на антената (ES38B 38 kHz) - типично максимално отклонение 0.6 dB от изчислените цели след отчитане на ДНД в рамките на ъгъла на компенсация 6 dB. В анализа на разпределението на TS са включени всички цели, регистрирани в рамките на риболовната зона, които отговарят на възприетите критерии за разпознаване на единична рибна цел. Минималната прагова стойност за TS е -60 dB.

На Фиг. 4.1.2.1 е илюстрирано местоположението на всички регистрирани единични цели спрямо вертикалната ос на акустичния лъч в надлъжно и напречно направление по време на измерванията. Ъгълът на лъча на акустичната антена на 38kHz (ES38B) на ниво 3dB е $\theta_{3dB} = 7.1^\circ$, но ъгловият детектор за TS измерванията работи над 10° като цяло или 5° от всяка страна на акустичната ос в напречно и надлъжно направление.

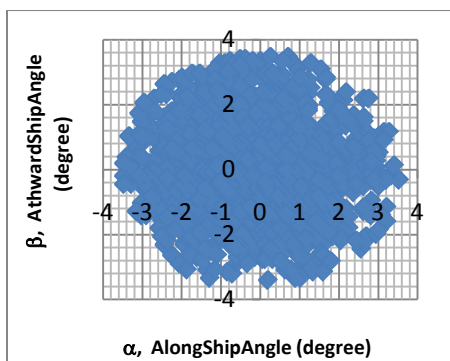
TS данните са филтрирани като са оставени само тези, които се намират на разстояние $< 1^\circ$ от оста на лъча, т.е. рибните цели попадащи в центъра на акустичния лъч и имащи дорзален (гръбен) аспект спрямо акустичната антена, при който се счита, че грешката от измерванията е минимална (Simmonds and MacLennan, 2005). Обратното разсейване от рибата силно зависи от наклона на тялото спрямо фронта на акустичната вълна.

Общо 3547 индивидуални цели са регистрирани на честота 38 kHz по време на измерванията през периода 2010-2011г. След филтриране на нежеланите цели, техният общ брой е редуциран до 1615 (Фиг. 4.1.2.2, Б)). Честотното TS разпределение, през интервал 0.1 dB, на комбинираните данни от различните трални станции е показано на Фиг.4.1.2.2, А). Общото TS разпределение варира между станциите в границите от -60 до -40 dB. В разпределението доминират TS в диапазона $-58 \div -50$ dB . Общата средна стойност $\overline{TS}$ е -51.8 dB.



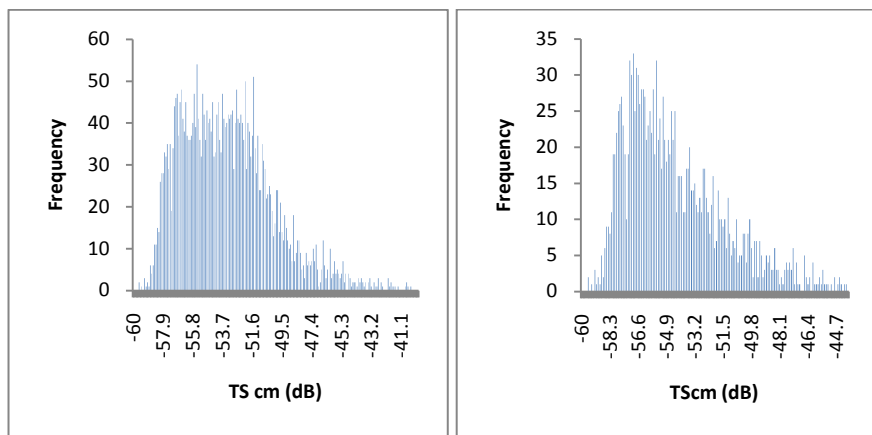
A)

Б)



С)

Фиг.4.1.2.1 Местоположение на всички регистрирани единични цели в акустичния лъч: А) позиция спрямо вертикалната ос в акустичния лъч в надлъжно (ъгъл α , along-ships angle) направление, Б) позиция спрямо вертикалната ос в акустичния лъч в напречно (ъгъл β , athward-ships angle) направление, С) местоположение на целите в целия акустичен лъч; $\theta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ - пространствения ъгъл на акустичния лъч (правоъгълна координатна система с център, центъра на антената, x оста сочи към десния борд, Y оста напред, а Z оста в посока надолу).



А)

Б)

Фиг.4.1.2.2 Честотно разпределение на TS стойностите – А) всички измерени стойности в периода 2010-2011г., Б) след прилагането на филтъра.

TS – L_T зависимост

В Таблица 4.1.3.1 са представени акустичните и биологични данни, които са използвани за определяне на отношението между силата на целта и средната дължина на триционата $TS - L_T$. Само тези акустични измервания, за които индексът на Sawada $N_v < 0.1$ и делът на триционата е над 80 % от общото тегло на всички уловени видове са използвани в анализа.

За триционата със средна дължина $\bar{L}_T$ от 8 до 9.75 cm (размерен диапазон от 5 до 11.5 cm) са определени средни TS стойности от -53.9 до -50.3 dB съответно. Общата средна $\overline{TS}$ стойност е -51.8 dB, при обща средна дължина на триционата 9 cm.

Обикновена линейна регресия на основата на метода на най-малките квадрати е използвана за определяне на зависимостта между силата на целта и средната дължина на рибата посредством линейния модел $TS = B \log_{10}(\bar{L}_T) + A$, където B и A са безразмерни константи зависещи от честотата и вида на рибата. В резултат на линейния регресионен анализ са получени следните зависимости между силата на целта и средната дължина на триционата от уловите:

$$TS = 37.39 \log_{10}(L_T) - 87.63 \quad (4.1.3.1)$$

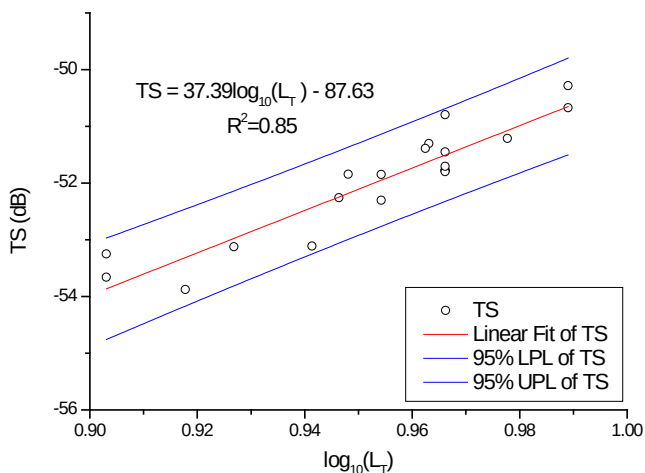
При фиксиран коефициент на наклона $B(b_{20}) = 20$ съотношението е:

$$TS = 20 \log_{10}(L_T) - 71.04 \quad (4.1.3.2)$$

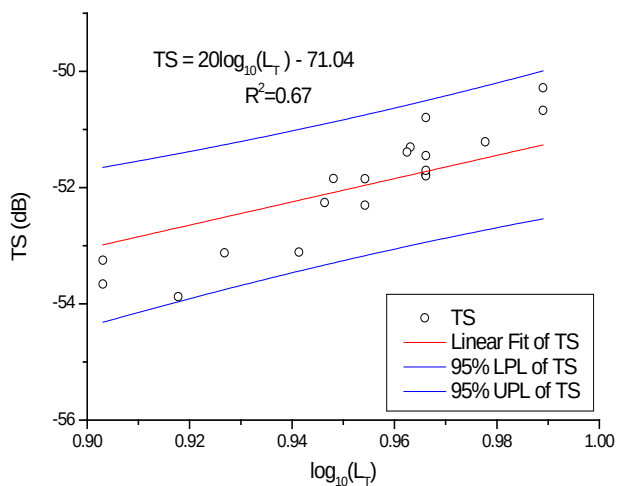
Прието е при определяне на $TS - L_T$ зависимостите да се използва $B = 20$ и зависимостта от честотата и вида на рибата се определя от А. Причината за това е, че линейният еквивалент σ_{bs} (напречно сечение на обратно разсейване) на силата на целта TS е пропорционален на квадрата на ефективната разсейваща дължина на рибата (Love 1971; Foote 1987; Simmonds and MacLennan, 2005).

Графиките на двете регресионни линии и съответните 95% доверителни интервали са показани на Фиг. 4.1.2.3, А) и Б).

В литературните източници по проблема са посочени две основни $TS - L_T$ зависимости за триконата определени от *in situ* и *ex situ* измервания на честота 38 kHz. Първата е обобщен модел ($TS = 20 \log_{10}(L_T) - 71.9$) за семейство Клупеиди (Clupeoidei), към което спада и триконата (Foote, 1987), а другата е стандартен модел определен за балтийската трикона ($TS = 20 \log_{10}(L_T) - 71.2$) и препоръчан от ICES (1983).



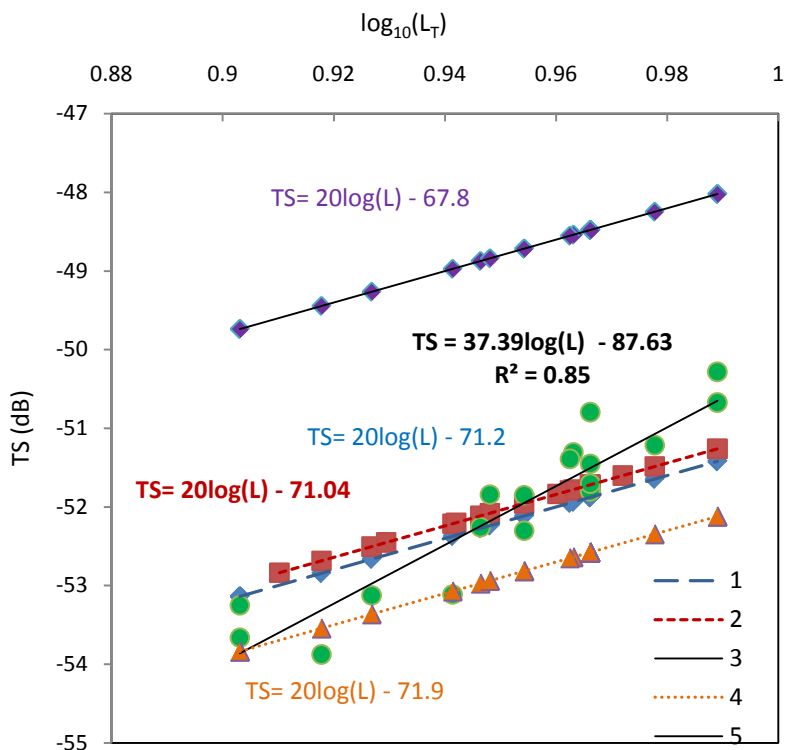
А)



Б)

Фиг. 4.1.2.3 Графики на регресионните линии: А) $B = 37.39$ и Б) $B(b_{20}) = 20$.

На Фиг.4.1.2.4 са сравнени линейните регресии от настоящото изследване (3 и 2), посочените по-горе модели (1 и 4) и зависимостта определена от Tomas Didrikas and Sture Hansson (2004) за балтийските херинга и трифона (5).



Фиг. 4.1.2.4 TS – L_T зависимости между дължината на триконата ($\log_{10}(L_T)$) и средната сила на целта $\overline{TS}$: (3) намерената зависимост (best-fit) от настоящото изследване ($37.39 \log_{10}(L_T) - 87.63$) и (2) стандартния модел (20) за Черно море; (1) стандартния модел препоръчан от ICES ($TS = 20 \log_{10}(L_T) - 71.2$) за триконата в Балтийско море (ICES, 1983), (4) общ модел ($TS = 20 \log_{10}(L_T) - 71.9$) определен от Foote (1987) за семейство клупеиди; (5) ($TS = 20 \log_{10}(L_T) - 67.8$) балтийска херинга и трикона (Tomas Didrikas and Sture Hansson, 2004).

Няма литературни данни за извършени директни измервания на TS *in situ* посредством split beam хидроакустична система и определени TS – L_T зависимости като цяло за района на Черно море. Следователно, представените резултати могат да бъдат приети като първи опит за измерване на силата на целта на триконата *in situ* (научна хидроакустична система с антена с разцепен лъч, 38 kHz) и определяне на TS – L_T зависимостта за акваторията на Черно море.

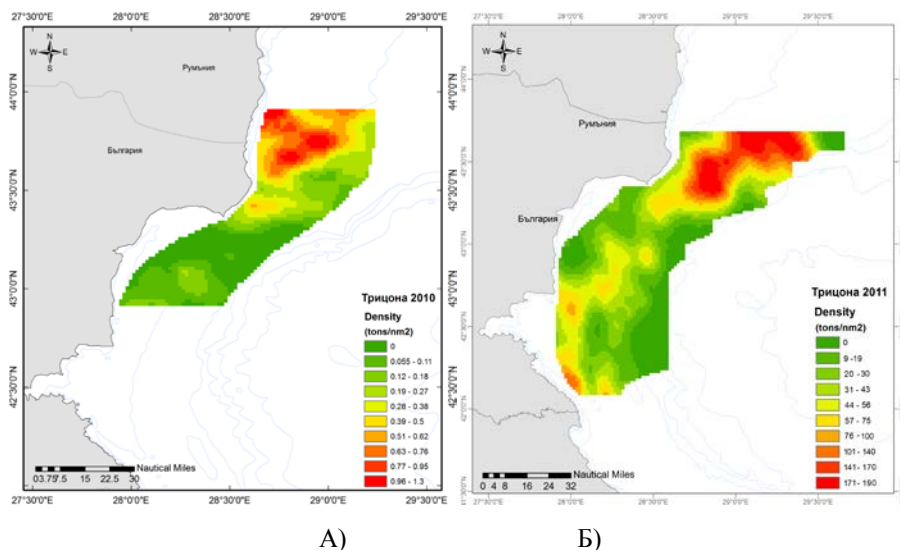
Таблица 4.1.3.1 Акустични и биологични данни, използвани за определяне на TS – L_T зависимостта за тризоната

Трал	Географски координати		Дълбочина на рибол. зона	Ср. дължина тризона	Средна TS	Станд. отклонение	Мин. TS	Макс. TS	TS threshold	Sawada Индекс
№	Дължина	Ширина	(m)	(L_T , cm)	(TS, dB)	(SD_{TS} , dB)	(dB)	(dB)	(TS, dB)	
T5	28°48'10" E	43°32'38" N	68	8.0	-53.8	2.11	-59.0	-48.6	-60	0.041
T6	28°46'52" E	43°21'34" N	82	8.3	-53.7	2.35	-59.2	-48.2	-60	0.087
T9	28°22'19" E	43°10'46" N	45	8.4	-53.2	2.04	-59.1	-47.2	-60	0.073
T10	28°02'26" E	42°56'28" N	30	8.7	-53.1	3.91	-58.3	-47.8	-60	0.043
T11	28°07'24" E	42°48'59" N	52	8.8	-52.3	1.79	-57.1	-47.5	-60	0.079
T14	28°10'49" E	42°41'22" N	76	8.9	-51.8	3.90	-55.7	-47.8	-60	0.028
T16	28°06'09" E	42°25'12" N	69	9.2	-51.3	1.59	-55.3	-47.4	-60	0.059
T18	28°03'02" E	42°23'10" N	58	9.2	-51.4	1.19	-56.4	-46.4	-60	0.061
T1	29°16'569" E	43°49'594" N	65	9.0	-52.3	3.08	-55.7	-48.9	-60	0.057
T2	29°05'521" E	43°52'786" N	46	9.3	-51.8	2.67	-56.8	-46.9	-60	0.068
T3	28°46'207" E	43°50'146" N	53	9.3	-51.5	3.98	-56.7	-46.3	-60	0.059
T5	29°44'729" E	44°21'933" N	63	9.8	-50.3	1.86	-55.7	-44.8	-60	0.048
T6	29°14'977" E	44°19'024" N	43	9.3	-50.8	1.90	-55.6	-46.0	-60	0.001
T8	29°06'825" E	44°03'214" N	48	9.3	-51.8	2.61	-54.8	-48.9	-60	0.023
T9	29°06'502" E	44°21'414" N	35	9.3	-51.7	1.60	-56.2	-47.3	-60	0.036
T10	29°54'368" E	44°29'001" N	63	9.5	-51.2	2.10	-56.3	-46.1	-60	0.047
T11	29°33'964" E	44°40'660" N	55	9.8	-50.7	3.46	-56.8	-44.5	-60	0.053
T12	29°33'964" E	44°25'448" N	55	9.3	-51.5	3.42	-56.5	-46.6	-60	0.025
T13	29°30'587" E	44°37'903" N	45	8.0	-53.9	2.76	-58.8	-48.9	-60	0.082
T14	29°39'840" E	44°46'332" N	42	9.0	-51.8	3.09	-57.8	-45.9	-60	0.073

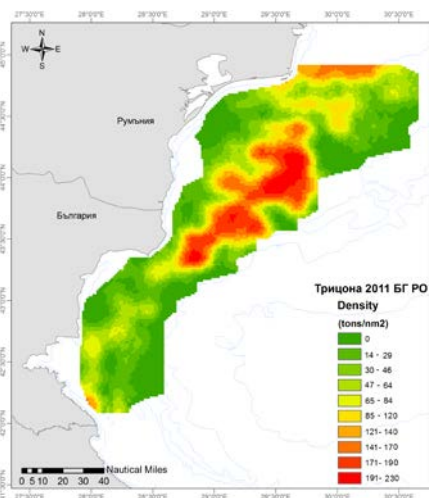
4.1.3 Индекси на обилието

В периода на хидроакустичните изследвания (2010-2011) са изминати 2142 nm и са направени ~ 50 Gb хидроакустични записи в българската и румънска акватории на Черно море. Индексите на обилието (численост и биомаса) на целевите видове риби са изчислени от акустичните данни, измерени на честота 38 kHz, след прилагане на алгоритъма за отделяне на рибите от останалите разсейватели (Глава 3, Раздел 3.6). За определяне на размерния и видов състав са използвани резултатите от ихтиологичните анализи на уловите от контролните тралирания. Въз основа на предварителен анализ на акустичните данни и местоположението на контролните тралове по схемата от профили е определена обвързаността на стойностите на акустичната биомаса (NASC) с данните от различните биологични улови. Методиката за изчисляване на числеността и биомасата от акустични данни е описана подробно в Глава 3, Раздели 3.9 и 3.10. Тя включва геостатистически метод кригинг, вариограмен анализ и моделиране на пространствената корелационна структура на данните. Геостатистическата интерполация и вариограмен анализ са извършени с ArcGIS9.3 (ESRI Corporation, Redlands, CA, USA).

Картите на разпределението на повърхностната плътност на биомасата на тризоната ρ (tons/nm²) за изследваните акватории са показани на фигури 4.1.3.2 и 4.1.3.3.



Фиг. 4.1.3.2. Карта на разпределението на плътността ρ (tons/nm²) на трицоната в българската акватория на Черно море, съответно А) - 2010г. и Б) – 2011г.

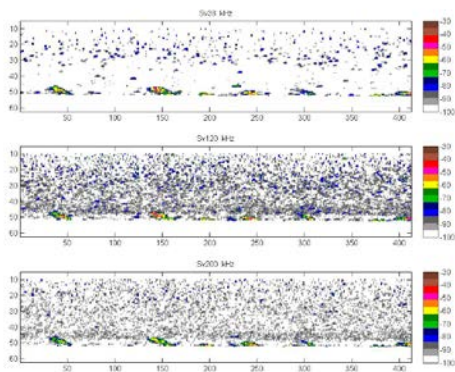


Фиг. 4.1.3.3 Карта на разпределението на плътността ρ (tons/nm²) на трицоната в цялата изследвана акватория на Черно море през 2011г.

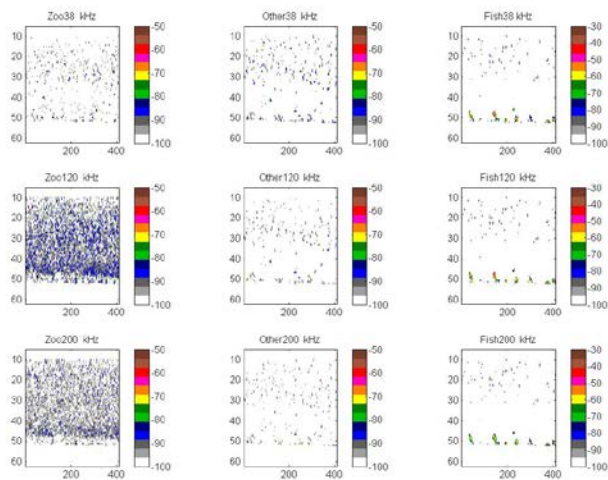
4.2 Акустична идентификация на биологичните организми

Доминиращите представители на звукоразсейващите слоеве (ЗРС) в Черно море са копеподи, желетели (медузи и ктенофори) и риби (основно трициона и

меджид). Най-подходящата честота за регистриране на рибите с плавателен мехур е 38 kHz, а за зоопланктона – 120 и 200 kHz (в зависимост от размерите на телата им). На Фиг. 4.2.1 са показани резултати от прилагането на алгоритъма за автоматична селекция и идентификация на ехо-сигналите на основата на измервания на три честоти (Глава 3, Раздел 3.6).



Оригинални ехограми 38, 120 и 200 kHz

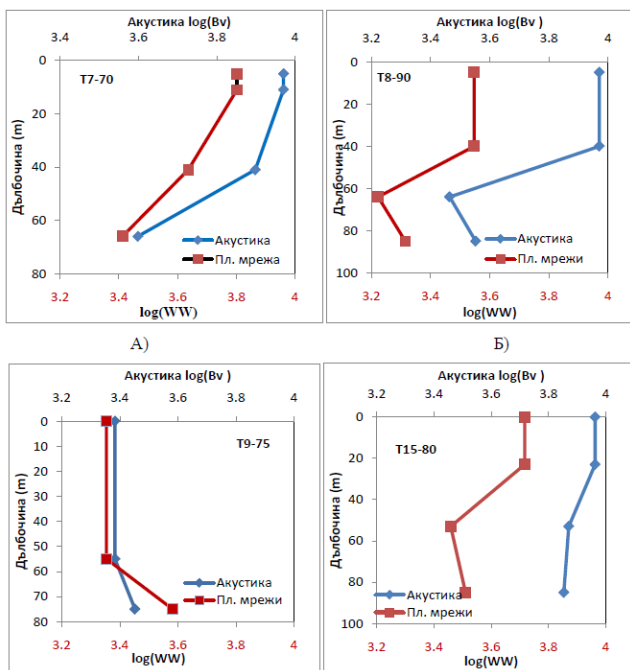


Ехограми получени като резултат от обработката
Фиг. 4.2.1 Илюстрация на резултатите от алгоритъма.

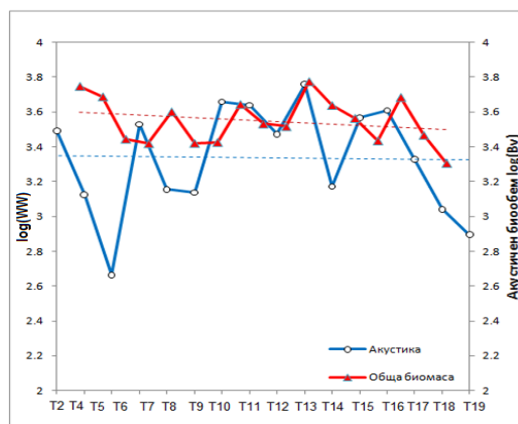
След отделянето на акустичните данни за зоопланктона е използван двучестотен метод за изчисляване на зоопланктонната концентрация от акустичните данни на честоти 120 и 200 kHz. За валидиране е направено

сравнение между вертикалното разпределение на акустичния биообем B_v ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-3}$) и биомасата ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) на зоопланктона определен от биологичните проби, взети с планктонна мрежа по време на изследването. Също така интегрираното обилие (0-100m) на зоопланктона е сравнено с интегрирания акустичен биологичен обем на хидробионтите.

На Фиг. 4.2.2 са показани резултати от вертикалното разпределение на логаритмично-трансформиранияте стойности на биомасата на зоопланктона и $\log(B_v)$ за станции Т7 А), Т8 Б), Т9 С) и Т15 Д). Тези станции са подбрани за сравняване на данните, тъй като на тях са събирани биологични проби на различни дълбочинни хоризонти. Динамиката на логаритмично-трансформиранияте интегрирани стойности на биологичната биомаса $\log(WW)$ и $\log(B_v)$ в изследвания район са сравнени на Фиг. 4.2.3.



Фиг. 4.2.2 Вертикално разпределение на $\log$ -трансформиранияте стойности на биомасата на зоопланктона (в червено) и $\log(B_v)$ (в синьо) и за станции Т7 А), Т8 Б), Т9 С) и Т15 Д).



Фиг. 4.2.3 Сравнение на интегрираните log-трансформирани стойности на биомасата на зоопланктона и $\log(B_v)$ за слоя 0-100 m по станции за изследваната акватория.

От графиките се вижда, че има добро съответствие между данните получени от акустичния и биологичен метод на измерване. При вертикалното разпределение се наблюдава нарастване на двете величини с увеличаване на дълбочината, като стойностите на B_v са по-големи от тези на биомасата от планктоните мрежи (Фиг 4.2.2). Динамиката на интегрирания биообем B_v и общата зоопланктонна биомаса по станции имат сходен характер и тук се наблюдава разлика между стойностите, както при вертикалното разпределение (Фиг. 4.2.3). Разликите между двете величини най-вероятно се дължат на различната разрешаваща способност на двата метода. Акустичните данни са определени за целия воден стълб с интервал 1m, докато биологичните проби се събират от определени дълбочинни хоризонти. Доминиращите в звуковото разсейване са желеобразните организми, особено медузата *A. Aurita*, поради техните големи размери (2-20cm). Вертикалната планктонна мрежа използвана за биологичното пробонабиране не е много подходяща за събиране на количествен материал за желатиновите видове с по-големи размери като медузата *A. Aurita*, но позволява качествена оценка на биомасата по видове на малките зоопланктери.

Разпределение на организмите по размер

В резултат на обработката на акустичните данни (120 и 200kHz) е получен освен биологичния обем (B_v , mm. m⁻³) на регистрираните във водната колона хидробионти, но и техния размерен състав като еквивалентен сферичен радиус ERS (mm).

Биологичният анализ показва, че разпределението на желатиновите видове ктенофорите *B. Ovata* и *P. Pileus*, и сцифомедузата *A. aurita* се установяват в акваторията със сравнително висока биомаса (8.9 ± 9.5 g.m⁻³). Copepoda е

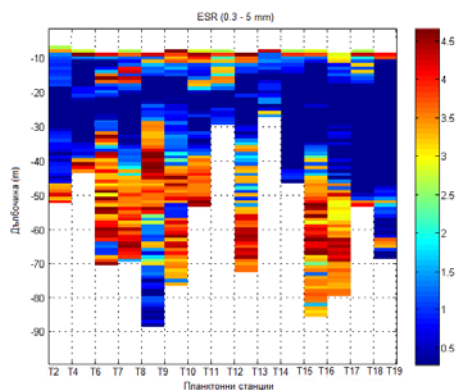
основната ключова група в структурата на мезозоопланктона представена с 71 % по численост и 54 % по биомаса, докато Chaetognatha е втората по значение група по отношение на биомасата с 33% участие в изследваната акватория. Зоопланктонните видове *C. euxinus* и *S. setosa* допринасят основно за най-високите биомаси на станции T4, T7, T8, T15, T17. Типичният размер за възрастните представители на вида *Calanus euxinus* е 3.3 - 3.5 mm, а размерът на хетогнатите достига до 20 mm, еквивалентният сферичен радиус ERS е съответно 0.75 mm и 1.4 mm. Представителите на желеобразния планктон се отнасят към групата на макрозоопланктона с размери в диапазона 2-20cm, т.е. $ERS > 1.4$ mm.

С акустичните честоти 120 и 200 kHz могат да бъдат регистрирани съответно биологични цели с размери по-големи или равни на 3 mm ($\lambda=1.25$ cm при $c=1500$ m/s, $1/4\lambda\approx 3$ mm) и 2 mm ($ESR\approx 0.3$ mm, $\lambda=0.75$ при $c=1500$ m/s, $1/4\lambda\approx 2$ mm), отговарящи на една четвърт от дължината на вълната (David *et al.* , 1999; Mutlu, 2003)).

На Фиг. 4.2.4 е показано вертикалното разпределение на зоопланктона по стойностите на еквивалентния сферичен радиус (ERS) за отделните станции. Размерният диапазон обхваща стойности от 0.3 до 5 mm.

Малките стойности на ESR 0.3-1.5 mm са съсредоточени в слоя вода 20-40 m (соя на термоклина), а при дълбоководните станции се наблюдават и на дълбочини под 60 m. Големите ESR са разположени основно в слоя вода между хоризонтите 40 и 60 m. Подобно разпределение се наблюдава и при биологичните данни. Те показват, че съобществото в повърхностния хомогенен слой е изградено основно от Copepoda, Chaetognatha и *N. Scintillans*. Копеподите увеличават тяхното значение към слоя, където е разположен термоклина и под него. Пикът в биомасата на дълбочина около 70 m се дължи основно на голяморазмерните видове *Calanus euxinus*, *Pseudocalanus elongatus* (60 % за двата) и възрастните *Sagitta setosa*.

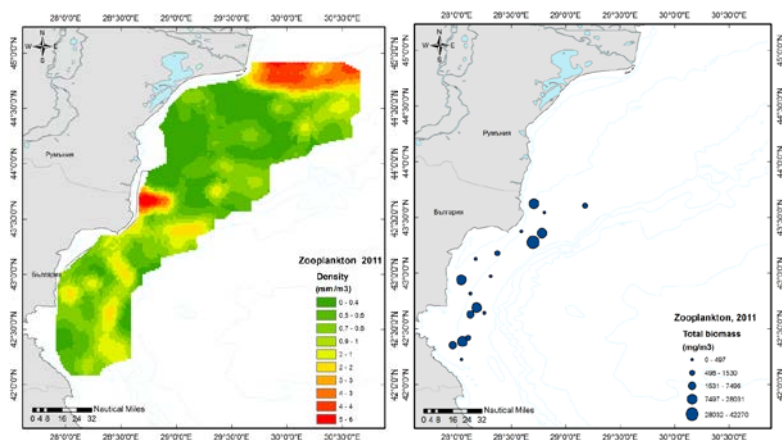
Основната цел на разработения и приложен алгоритъм за автоматична селекция на ехо-сигналите на основата на измервания на три честоти е да се постигне разграничаване и идентификация на двете широки биологични групи: риби с плавателен мехур и зоопланктон (копеподи и желетели), които включват представители на различни по вид и размери хидробиони. Резултатите от валидирането на акустичния метод посредством биологични данни са изцяло в подкрепа на поставената цел.



Фиг. 4.2.4 Вертикално разпределение (слой 1 m) на зоопланктерите по размери за диапазона 0.3 - 5 mm (ESR, еквивалентен сферичен радиус) и по станции.

4.3 Оценка на биомасата на зоопланктона

Разпределението на биологичния обем $\log(B_v)$ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-3}$) на зоопланктона, определен от акустичните данни в изследваната акватория и общата биомаса на зоопланктона ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) по станции в българската акватория на Черно море са показани на Фиг 4.3.1, А) и Б), съответно. Данните са интерполирани посредством геостатистическия метод кригинг, като преди това е извършен вариограмен анализ. Биологично пробонабиране в северозападната част от района по време на изследването не е извършено.



Фиг. 4.3.1 Карта на разпределението на плътността ρ ($\text{mm} \cdot \text{m}^{-3}$) на зоопланктона в цялата изследвана акватория през 2011г. и общата биомаса на зоопланктона по станции в българската акватория на Черно море.

ОБОБЩЕНИ РЕЗУЛТАТИ И ИЗВОДИ

В резултат на извършеното в настоящия дисертационен труд изследване могат да бъдат изведени следните обобщени резултати и изводи:

1. Получени са данни за силата на целта TS на черноморската трициона (*Spratus Spratus*) в резултат на хидроакустични измервания *in situ* на честота 38 kHz в западната и северозападна части на Черно море, чрез научна хидроакустична система Simrad EK60 и антена с разцепен лъч (split beam)

2. Изчислена е функционална зависимост на силата на целта от дължината на рибата TS-L за черноморската трициона, на основата на хидроакустичните измервания *in situ* в риболовната зона и биологични данни за размерния състав на триционата от контролните тралирания.

3. Направено е сравнение на изчислената зависимост TS-L за черноморската трициона с общоприети в световната хидроакустична практика TS-L регресионни модели за риби от семейство Клупеиди и балтийската трициона. Полученият модел може да се използва за изчисляване на биомасата на черноморските риби от семейството на малките клупейдни риби (трициона, хамсия)

4. Направена е оценка на разпределението и биомасата на черноморската трициона с използване на получения TS-L модел за изследваните акватории в периода 2010-2011

5. Изчислена е биомасата на целевите видове (трициона, меджид и сафрид) за българската акватория на Черно море в периода ноември-декември 2010-2011, на основата на хидроакустични измервания на честота 38 kHz и биологични данни от контролните тралирания

6. Направен е вариограмен анализ и моделиране на пространствената корелационна структура на повърхностната плътност на черноморската трициона и са изработени карти на разпределението за изследваните акватории

7. Определен е размерния състав на зоопланктона (копеподи и желетели) за българската акватория на Черно море на основата на хидроакустични измервания на честоти 120 и 200 kHz, Simrad EK60

8. Изчислена е общата биомаса на зоопланктона в слоя (0-100m) от акустичните данни за 2011г. и е представено нейното хоризонталното разпределение за изследваната акватория

9. Извършена е успешна калибрация на научната хидроакустична система Simrad EK60 (38,120 и 200kHz). Резултатите от нея са достатъчно добри съгласно критериите описани в техническото ръководство на фирмата Simrad (Норвегия)

10. За подобряване на резултатите от хидроакустичната оценка на индексите на обилие на пелагичните видове риби в акваторията на Черно море е необходимо да се използва пелагичен трал с по-малки размери от

използвания в представените изследвания, по-подходящ за контролни траливания до дълбочини 100 m

11. За точна оценка на състоянието на рибните запаси в българската акватория на Черно море и тяхното устойчиво използване е необходимо извършването на поне една трално-акустична снимка през годината, в период подходящ за целта.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Изведени са следните приноси с научен и научно-приложен характер:

1. Разработена е методика за изследване на пелагичните риби и зоопланктон чрез научна мултичестотна хидроакустична система и метод, и е приложена за първи път в акваторията на Черно море

2. Разработен е универсален подход за определяне на биомасата на струпвания от различни по вид и размери риби. Той може да се използва за оценка на състоянието на запасите от пелагични видове риби чрез хидроакустична апаратура и метод в Черно море

3. Изчислена е функционална зависимост на силата на целта от дължината на рибата TS-L за черноморската трикона, на основата на хидроакустичните измервания *in situ* на честота 38 kHz с научна хидроакустична система. Полученият регресионен модел може да се използва за изчисляване на биомасата на черноморските видове от семейството на малките клупевидни риби (трикона, хамсия)

4. Разработен е алгоритъм за автоматична селекция на ехо-сигналите на основата на измервания на три честоти 38, 120 и 200kHz с цел разграничаване на зоопланктонните струпвания от тези на рибите и количествена оценка на биомасата на зоопланктона

Научни публикации по темата на дисертационния труд:

1. Marinova V. 2013. Development and application of a multifrequency method for fish and zooplankton discrimination and biomass estimation. Известия на СУ-Варна, серия „Морски науки” 2013. 45-49.
2. Marinova. V. 2010. A dual frequency algorithm for the identification of biological organisms in sea water. BlackSea'2010 Proceedings. 313-317.
3. Marinova V., K. Stefanova. 2009. Spatial distribution and migration of sound scattering layers and zooplankton in front of Bulgarian Black Sea coast. SENS 2009 . Fifth Scientific Conference with International Participation SPACE, Ecology, Nanotechnology, Safety. 2–4 November 2009, Sofia, Bulgaria . 223-229