

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания

Оценка и моделиране на запасите от промишлени риби в Черно море като основа на екосистемния подход за управление на морските биоресурси

Автореферат

на дисертация за придобиване на научна и образователна степен
„доктор”

По научна специалност

01.06.11. „Хидробиология“

Йоана Георгиева Георгиева

Научен ръководител:
Проф. д-р Георги М. Даскалов



София, 2020 г.

Дисертационният труд съдържа 276 страници, 80 фигури, 49 таблици и 4 приложения. Списъкът с цитираната литература съдържа 393 заглавия, от които 76 на кирилица и 317 – на латиница.

Дисертацията е разработена в рамките на редовна докторантура в Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН в периода 2013-2015 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен към защита на разширено заседание на отдел „Водни екосистеми“ на Института по биоразнообразие и екосистемни изследвания при БАН, състояло се на 18.02.2020 г.

Основните експериментални и полеви изследвания в този дисертационен труд са финансирани по проекти PERSEUS и COCONET.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 2020 г. от ч. в Заседателната зала на База 1 на ИБЕИ-БАН, София, ул. „Майор Юрий Гагарин“ № 2, на открито заседание на петчленно научно жури, назначено със заповед на Директора на ИБЕИ-БАН № от 2020 г., в състав:

Състав на научното жури:

Вътрешни членове:

проф. д-р Георги Даскалов - ИБЕИ

доц. д-р Апостолос Апостолу – ИБЕИ

резервен член: доц. д-р Лъчезар Пехлвианов

Външни членове:

доц. д-р Марина Панайотова – ИО

доц. д-р Галерида Райкова – пенсионер БФ, СУ

доц. д-р Веселина Михнева – ИРР

резервен член – доц. д-р Виолин Райков ИО

1. УВОД

През последните десетилетия голяма част от морските екосистеми в световен мащаб претърпяват значителни изменения по отношение на своите биоразнообразие и структура, причини за които са нарушаването на естествените местообитания, еутрофикацията, замърсяването с токсични отпадъци, прекомерното риболовно усилие. Всички тези явления не подминават и Черно море, което е подложено на сериозни екологични промени, в резултат на които запасите на редица видове риби драстично намаляват. Във връзка с изброените явления възниква необходимостта от провеждане на политика, базирана на екосистемен подход за рационална експлоатация на морските биоресурси. Екосистемният подход за управление на морската среда взема под внимание факта, че много човешки дейности въздействат отрицателно върху морските екосистеми и рибните запаси в тях, и че всички тези въздействия – не само риболова – трябва да бъдат управлявани с цел опазване на екосистемите и рибните ресурси. В подкрепа на екосистемния подход за управление на риболова (ЕПУР) започват да се разработват многовидови модели. В основата на тези модели лежи схващането, че видовете не са изолирани едни от други и представляват неразривни части от една комплексна и динамична система. По този начин ЕПУР задължително разглежда въздействието на риболова върху биологичното разнообразие, местообитанията и промените в структурата и продуктивността на хранителните мрежи.

Във връзка с гореказаното, настоящата дисертация е насочена към изучаване на различни биологични показатели (размерно-възрастов състав, хранителен спектър, улов за единица риболовно усилие), описващи състоянието на някои от най-важните стопански видове риби (лефер, сафрид, трикона) в Черно море, както и към използването на многовидов трофичен модел (Ecopath with Ecosim) за описание и анализ на статуса на черноморските биоресурси и на екосистемата като цяло.

2. ЛИТЕРАТУРЕН ОБЗОР

Представен е литературен обзор, описващ океанографската (геоморфология, климат и хидродинамика) и екологична (съобщества на планктон, бентос и нектон) характеристика на Черно море. Описано е влиянието на най-съществените антропогенни фактори (еутрофикация, свръхулов), оказали влияние върху структурата и функционирането на черноморската екосистема. Разгледани са основните абиотични и биотични фактори на средата с фундаментално значение за състоянието на рибните популации. Описани са трофичната структура на Черно море, същността и основните цели на ЕПУР и на многовидовото моделиране (EwE).

3. ОПИСАНИЕ НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ ИХТИОЛОГИЧНИ ВИДОВЕ

Представена е кратка характеристика на изследваните видове – лефер, сафрид и трикона. Описани са основните биологични характеристики на видовете, както и основните тенденции в техните улови (български и общи черноморски) през последните десетилетия (1970-2015 г.).

4. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Основната цел на настоящия дисертационен труд е доразработването и калибрирането на многовидов трофичен модел (EwE) за черноморската екосистема, както и оценката на състоянието на промишлените биоресурси и на екосистемата като цяло.

За изпълнение на горепосочената цел бяха заложили следните задачи:

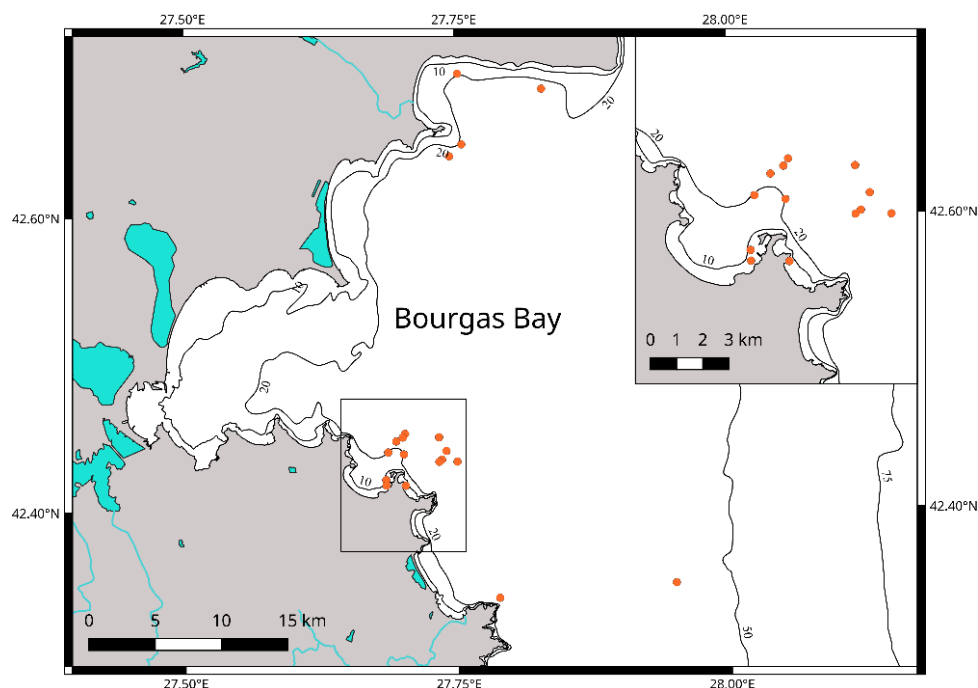
1. Определяне на размерно-възрастовата структура на проби от лефера, събирани от риболовните улови в района на Бургаския залив. Сравнителен анализ на нарастването на лефера в Черно море, извършен на базата на резултатите от настоящото проучване и исторически данни от литературни източници.
2. Анализ на стомашно съдържимо и описание на храненето на лефера през есенния риболовен сезон.
3. Анализ на стомашно съдържимо на проби от сафрид, събирани от риболовните улови в района на Бургаския залив. Анализ и описание на храненето на сафрида през пролетно-летния и есенния сезони.
4. Доразработване на трофичен модел за Черно море (EwE), съдържащ основните екологични групи организми в черноморската екосистема. Добавяне на групите на макрофитобентоса и резултатите от изследването на храненето на лефера и сафрида към модела. Балансиране на статичния модел Ecospath. Анализ и характеристика на черноморската екосистема с помощта на различни екологични индикатори.
5. Калибрация на динамичния модел Ecosim. Разработване и анализ на различни риболовни сценарии с цел изследване на влиянието на промени в риболовното усилие върху запасите от промишлени биоресурси в Черно море.

5. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

5.1. Хранене и нарастване на лефера *P. saltatrix* в Черно море

5.1.1. Пробонабиране

За определяне на хранителния спектър и популационните характеристики (размерно-възрастова и тегловна структура, коефициент на охраниеност) на лефера бяха събрани проби от уловите на промишлени риболовни кораби (пелагични траулери тип „Балтик”), стационарни риболовни улови (хрилни мрежи), както и от рибарски улови, извършвани с чепарета, в района на Бургаския залив (*Фиг. 5.1.1*). Пробонабирането беше осъществено през периода септември-ноември, 2013-2015 г. Бяха събрани общо 974 екземпляра за определяне на популационните параметри и параметрите на хранене и 933 отолита за определяне на възраст.



Фиг. 5.1.1. - Район на пробовзимане за лефер, Бургаски залив, 2013-2015 г

5.1.2. Методи за определяне на популационни параметри

Пробите представляваха случайна извадка от общите риболовни улови. Всяка проба съдържаше около 30 екземпляра. Индивидите бяха разпределяни по размерни групи на базата на абсолютната дължина на тялото (TL, cm) с интервал от 0.5 cm между отделните класове. Определена беше числеността (N) и общото тегло (W, g) на всяка размерна група. Възрастта на рибите беше определена по отолити. Получените данни от обработените проби бяха използвани за описание на следните популационни характеристики: средни дължини и тегла по възрастови класове, честота на разпределение на размерните групи, възрастов състав на пробите.

5.1.3. Методи, използвани при сравнителния анализ на нарастването на лефера

Беше извършен сравнителен анализ на нарастването на лефера в Черно море между съвременния (настоящото проучване, 2013-2015 г.) и историческия периоди (1950-1970 г.). Анализирани бяха следните параметри: абсолютна дължина на тялото, тегло на тялото, възраст, модел на линейното нарастване на Берталанфи (VBGM), показател на линейно нарастване (ϕ'), линейно и тегловно годишно нарастване, тегловно-линейна зависимост на тялото, коефициент на охраненост (cf). За целите на сравнителния анализ бяха използвани и данни за параметрите на нарастване на лефера (k , L_{∞} и t_0) от проучвания, извършени след 2000 г. в района на Мраморно море (Ceyhan et al. 2007).

5.1.4. Методи за анализ на стомашно съдържимо на проби от лефер

След приключване на биометричните измервания всеки от екземплярите в пробата беше обработен по следния начин: измерване на индивидуална дължина и тегло на тялото; отстраняване на стомаха (от хранопровода до пилоричната клапа); измерване на пълен и празен стомах - за определяне на биомасата на стомашното съдържимо; идентифициране на хранителните обекти, открити в стомашното съдържание. Бяха изчислени стандартни индекси за определяне на интензивността на хранене (индекс на

празните стомаси - %VI, гастро-соматичен индекс - %Ga.SI) и степента на значимост на отделните хранителни обекти в храненето (индекс честота на срещане - %F, индекс на относителна значимост – IRI, %IRI, индекс на числено изобилие - %Cn, гравиметричен индекс - %Cw). Беше изчислена също и индивидуалната консумация на лефера (среден брой погълнати хранителни обекти – CN, и средно количество погълната биомаса - CW), както и хранителната стойност на основните хранителни обекти в храненето на лефера, изразена като съдържание на протеини и липиди (g/g мокро тегло риба).

5.2. Хранене на сафрида *T. mediterraneus* в Черно море

5.2.1. Пробонабиране

За определяне на хранителния спектър и популационните характеристики на сафрида бяха събрани проби от улови в района на Бургаски залив (виж т. 5.1.1, Фиг. 5.1.1). За определяне на популационните характеристики бяха събрани общо 2453 екземпляра и 1467 отолита, а за определяне на стомашното съдържимо бяха обработени общо 1293 индивида.

5.2.2. Методи за анализ на стомашно съдържимо на проби от сафрид

Анализът на стомашното съдържание беше извършен по методиката, описана за лефера. За определяне на интензивността на хранене и степента на значение на отделните хранителни обекти в храненето на сафрида бяха използвани индексите %VI, %GaSI, %Cn, %Cw, %F, IRI, %IRI (виж т. 5.1.4). За определяне на хранителната стратегия на сафрида беше приложен графичен метод на Costello (1990) с модификация от Amundsen et al. (1996).

5.2.3. Методи за определяне на популационни параметри

За определяне на популационните характеристики на пробите от сафрид беше спазвана методиката, описана за лефера (т. 5.1.2.).

5.3. Разработване на трофичен модел за Черно море (EwE)

5.3.3.1. Структура на входящите данни

Използваният в настоящия дисертационен труд трофичен модел EwE обхваща периода 1990-2010 г. и е модифицирана версия на серия модели за Черно море, разработени от проф. Г. Даскалов (Daskalov 2002; Daskalov et al. 2012; Daskalov 2013). Моделът е базиран на 32 функционални групи, описващи трофичната мрежа на Черно море. В модела са включени: морски бозайници (1 група); риби (9 групи); бентосни безгръбначни (6 групи); първични продуценти (6 групи); пелагични безгръбначни (9 групи); детрит (1 група).

Използваните данни в модела са взимани от различни литературни източници. Биомасите в модела са изразени във въглеродно тегло ($\text{g/Cm}^{-2}\text{yr}^{-1}$). Настоящият дисертационен труд добавя към вече конструирания EwE модели на Daskalov (2002, 2012; 2013) звената на макрофитобентоса, а също и допълва информацията за хранителния спектър на сафрида и пелагичните хищници (лефер и паламуд).

5.3.3.4. Създаване на Ecosim сценарии като способ за експериментално изследване на черноморската екосистема и като основа за прилагане на ЕПУР

Бяха разработени сценарии с цел изследване на промените, които биха настъпили в структурата на екосистемата под различни външни въздействия, в случая - промени в риболовната смъртност.

Сценарий 0 (Basic). Основен модел (без прилагане на форсинг), при който риболовната смъртност (F) е запазена непроменена. Резултатите от този сценарий бяха сравнени с тези от другите симулации.

Сценарий 1 (-50 F% SMPEL). Намаление на F на малките пелагични видове риби (трикона, хамсия, сафрид) с 50%.

Сценарий 2 (+50 F% SMPEL). Увеличаване на F на малките пелагични видове риби (трикона, хамсия, сафрид) с 50%.

Сценарий 3 (-50 F% PELPRED). Намаление на F на пелагичните хищни видове риби (лефер и паламуд) с 50%.

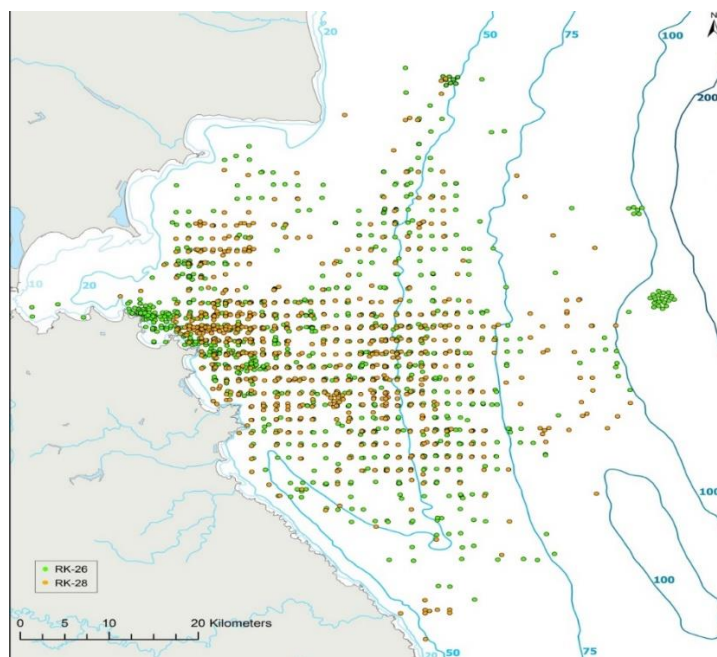
Сценарий 4 (+50 F% PELPRED). Увеличаване на F на пелагичните хищни видове риби (лефер и паламуд) с 50%.

Сценарий 5 (-50 F% DEMFISH). Намаление на F на дънните видове риби (меджид, калкан, акула, други дънни риби) с 50%.

Сценарий 6 (+50 F% DEMFISH). Увеличаване на F на дънните видове риби (меджид, калкан, акула, други дънни риби) с 50%.

5.4. Събиране на данни за уловите от трикона и изчисляване на индекса „Улов за единица риболовно усилие“

Извършен беше анализ на състоянието на запаса от трикона по българското крайбрежие на базата на тенденциите в индекса „улов за единица риболовно усилие“, CPUE, както и изследване дали два кораба (РК 26 и РК 28) от българския промишлен риболов с еднакви технически характеристики и с един и същ целеви риболовен обект (черноморска трикона) се характеризират със сходни стойности на индекса CPUE. Анализираните данни обхващат периода 2006-2015 г. и съдържат информация относно следните параметри: размер на ежедневните риболовни улови (C , kg); продължителност на тралните операции, изразена в часове (f , h); координати на позицията на кораба в момента на приключване на всяка от тралните операции (**Фиг. 5.4.1**).



Фиг. 5.4.1 - Акватория на риболовната дейност на РК 26 и РК 28 за периода 2006-2015 г., Бургаски залив.

Беше извършена емпирична верификация между стойностите на индекса CPUE и параметрите обща биомаса и общ български улов на трикона, като за целта бяха използвани данни за периода 2006-2015 г. за биомасата и българските улови на вида, публикувани в доклада на STECF (2017), както и стойности за биомасата, получени от модела EwE.

5.5. Методи за обработка и анализ на данните. Използвани софтуерни продукти

За обработване на данните и визуализиране на получените резултати бяха използвани следните статистически тестове: t-тест (*Student's t-test; two samples; two tails; unequal variances*); параметричен коефициент на линейна корелация на Pearson, r (*Pearson correlation coefficient*) и непараметричен рангов корелационен коефициент на Spearman, ρ (*Spearman rank correlation coefficient*); количествената мярка за сходство на Bray Curtis. Статистическите анализи и визуализации бяха извършени с помощта на следните софтуерни продукти: Microsoft Office Excel 2007 и добавката за статистически анализи Daniel's XL Toolbox; ArcGIS 10.0; Primer6; Ecopath with Ecosim, EwE (6.5).

6. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

6.1. Хранене и нарастване на лефера *P. saltatrix* в Черно море

За периода на изследване на тази дисертация (2013-2015 г.) в уловите от лефер в българския сектор на Черно море бяха регистрирани четири възрастови групи: 0 – 3 (**Табл. 6.1.1**). Размерите на тялото варираха между 12.5 и 33 cm абсолютна дължина. За разлика от съвременния период, уловите от 1950^{-те} - 1970^{-те} години на миналия век са били представени от едри екземпляри, принадлежащи предимно на възрастови групи от 2 до 7 години (**Табл. 6.1.1**).

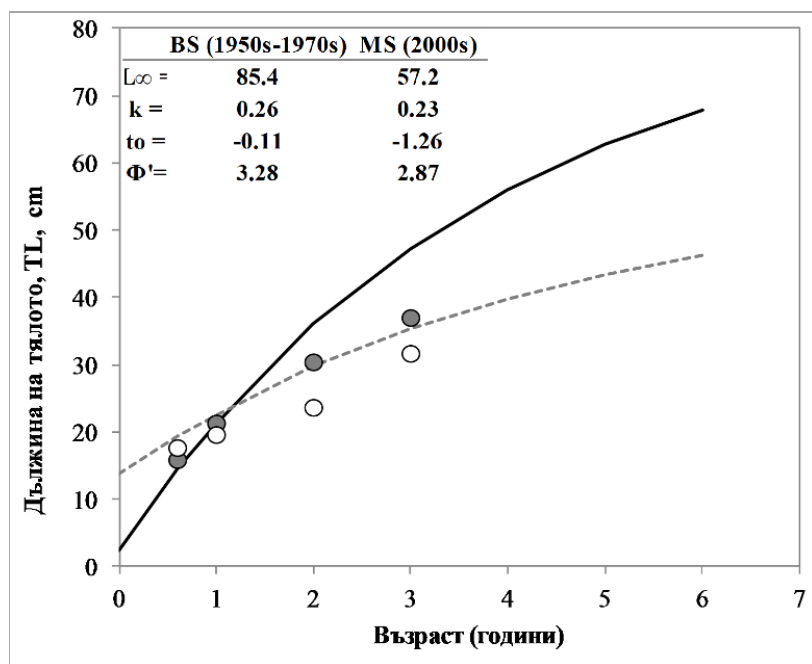
Таблица 6.1.1. Възрастов състав (% от общия брой) на улови от лефер за различни периоди от време в българския риболовен сектор на Черно море по данни на Стоянов и кол. (1963), Коларов (1964) и настоящото проучване (2013-2015 г.).

Възраст/ Брой (%)	1959	1960	1961	1962	1963	2013	2014	2015	Средно 1959-1963	Средно 2013-2015
0	-	-	-	-	-	72.1	47.6	34.0	-	51.2
1	1.2	1.2	20.1	26.2	11.7	27.2	39.1	62.2	12.1	42.8
2	17.8	17.8	45.7	37.0	23.9	0.7	2.6	3.8	28.4	2.4
3	74.6	74.6	16.5	9.5	39.2	0.0	10.8	0.0	42.9	3.6
4	0.0	0.0	17.2	15.5	11.5	-	-	-	8.8	-
5	1.8	1.8	0.4	11.5	8.1	-	-	-	4.7	-
6	4.7	4.7	0.0	0.4	5.6	-	-	-	3.1	-

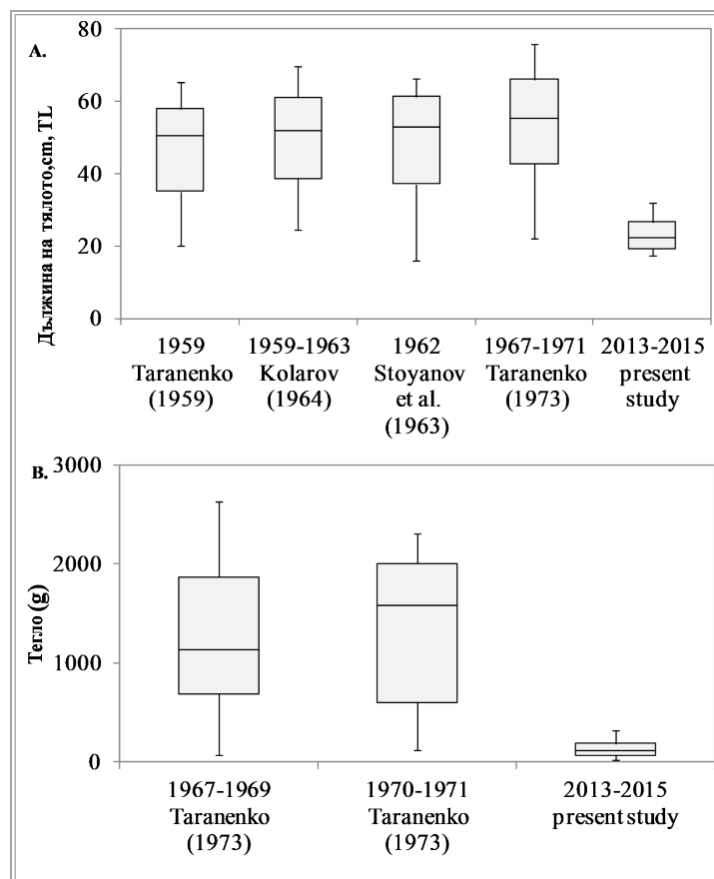
За периода 1959-1971 г. изчислените средни стойности на параметрите от уравнението на Вон Бергаланфи (VBGM) са: $L_{\infty}=84.5$ cm, $k=0.26$, $t_0=-0.11$ (**Фиг. 6.1.2**). Параметрите k , L_{∞} и t_0 , докладвани в съвременния период за Мраморно море (Seuhan et al. 2007), описват значително по-ниска крива на нарастване от изчислената за периода 1959-1971 г. (**Фиг. 6.1.2**). Параметърът на линейното нарастване ϕ' бележи по-високи

стойности ($\phi' = 3.28$) за периода на 1959-1971 г. (Черно море), и по-ниски ($\phi' = 2.87$) за 2003-2004 г. (Мраморно море).

Резултатите от t-теста показаха значими разлики в средните стойности на параметрите TL и W между анализирания период. Тези разлики са силно изразени при индивидите от 2-ра ($p < 0.0001$) и 3-та ($p < 0.0001$) възрастови групи, при които дължините и теглата на телата през 2013-2015 г. са съответно с 30% и 50% по-ниски от регистрираните през 1950-те-1970-те години на 20-ти век (**Фиг. 6.1.2; 6.1.3 а, б**). В сравнение с 1960-те и 1970-те години, в съвременния период две- и тригодишните индивиди показаха много по-слабо годишно линейно (50%) и тегловно (70%) нарастване (**Табл. 6.1.5**). Тегловно-размерната зависимост на тялото показва, че през 2013-2015 г. леферът има позитивен алометричен растеж, т.е. нараства по-бързо на тегло, отколкото на дължина ($a=0.007$; $b=3.093$). Негативен алометричен растеж е изчислен на базата на исторически данни за периода 1959-1971 г. (Черно море) ($a=0.025$; $b=2.74$). Средните стойности на коефициента на охраненост c_f на индивидите не показаха значими разлики между двата периода. Тази липса на съществена разлика в стойностите на фактора c_f между изследванията вероятно се дължи на различния период на пробовземане в историческия и съвременния периоди.



Фиг. 6.1.2. - Линии на нарастване на лефера, изчислени с помощта на модела на Вон Берталанфи на базата на данни за размерно-възрастовата структура на лефера от районите на Черно море за периода на 1959-1971 г. (черна линия) (Turgan 1959, Стоянов и кол. 1963, Коларов 1964, Тараненко 1973) и Мраморно море за 2003-2004 г. (сива прекъсната линия) (Seuhan et al. 2007). С модела са съпоставени реалните данни за размерите на тялото на лефера от изследвания, проведени в района на Мраморно море за периода 2003-2004 г. (сиви кръгове) (Seuhan et al. 2007) и в българския сектор на Черно море за периода 2013-2015 г. (бели кръгове).



Фиг. 6.1.3. - Box plot графики на (А.) средни размери и (Б.) тегла на лефер, описани от различни автори в Черно море (Тараненко 1959; Коларов 1964; Стоянов и кол. 1963; Тараненко 1973; настоящото проучване). Двустранният t-тест показва значими разлики между средните дължини и тегла на лефера в историческия и съвременния периоди.

Таблица 6.1.5. Годишно нарастване на лефера, изразено като среден линеен (см на година) и тегловен (g на година) прираст. Използвани са оригинални данни от: 1950^{-me} – Коларов (1964) и Turgan (1959); 1960^{-me} – Коларов (1964), Стоянов и кол. (1963) и Тараненко (1970); 1970^{-me} - Тараненко (1971); 2010^{-me} - настоящото проучване (2013-2015 г.).

Линейно нарастване, cm	1950s	1960s	1970s	2010s
TL _{възраст2} -TL _{възраст1}	13.3	13.7	14.2	6.8
TL _{възраст3} -TL _{възраст2}	15.7	9.9	10.9	5.3
Тегловно нарастване, g	1960s	1970s	2010s	
W _{възраст2} -W _{възраст1}	487	356	123	
W _{възраст3} -W _{възраст2}	309.7	498	127	

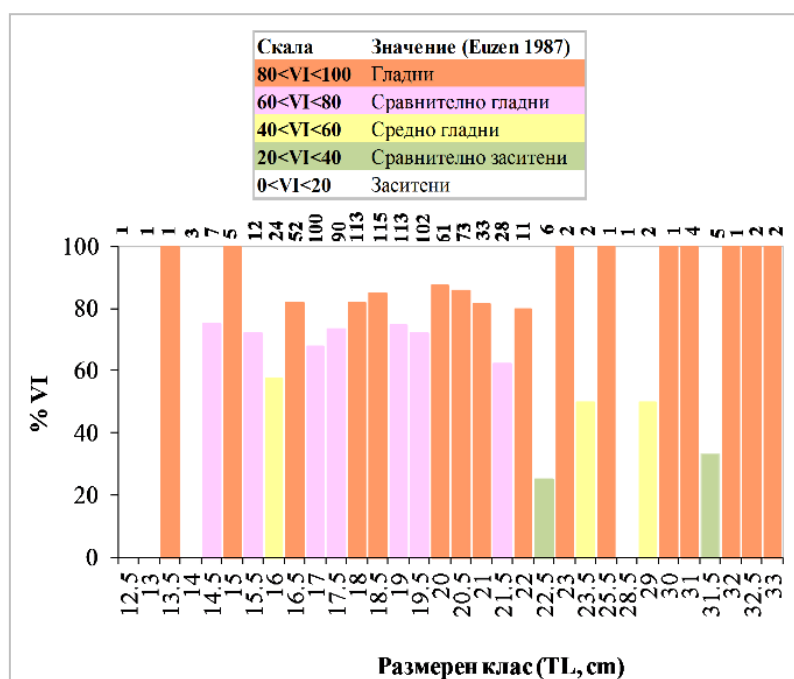
6.1.2. Хранителен спектър и интензивност на хранене на лефера

За периода 2013-2015 г. преобладаващата част от изследваните стомаси се оказаха празни. Хранителни обекти бяха открити само в 25% от анализирания стомаси. В стомашното съдържимо на лефер бяха открити представители на шест семейства костни риби: Clupeidae; Engraulidae, Carangidae, Gadidae, Mullidae и Gobiidae. В стомашното съдържание бяха идентифицирани също скариди (Caridea), многочетинести червеи (Polychaeta) и медузи (Scyphozoa). Общо за 2013-2015 г., жертвите с най-голямо значение за храненето на лефера са сафрид и трицона (предимно постларвни форми). Анализите

показаха, че сафридът е най-предпочитаната жертва, а трицоната - най-многочислената, с почти два пъти по-висока численост от тази на сафрида (**Табл. 6.1.8**).

Таблица 6.1.8. Средни стойности на индексите числено обилие (%Cn), гравиметричен индекс (%Cw), честота на срещане (%F) и индекс на относителна значимост (IRI; %IRI) на проби от лефер, български сектор на Черно море, 2013-2015 г.

Таксон жертва/Индекс	%Cn	%Cw	%F	IRI	%IRI
<i>M. barbatus</i>	2.9	4.0	4.9	33.9	0.5
<i>T. mediterraneus</i>	28.0	54.7	46.3	3830.7	58.2
<i>E. encrasicolus</i>	9.4	15.8	11.8	297.3	4.5
<i>S. sprattus</i>	52.8	19.6	32.9	2384.3	36.2
<i>M. batrachocephalus</i>	0.4	1.8	0.8	1.8	<0.01
<i>Z. ophiocephalus</i>	0.2	0.5	0.4	0.3	<0.01
<i>M. merlangus</i>	0.4	0.1	0.8	0.4	<0.01
Gobiidae	0.2	0.2	0.4	0.2	<0.01
Pisces	3.1	1.5	5.7	26.5	0.4
Caridea	2.0	1.5	3.3	11.5	0.2
Polychaeta	0.2	0.0	0.4	0.1	<0.01
Scyphozoa	0.2	0.1	0.4	0.1	<0.01

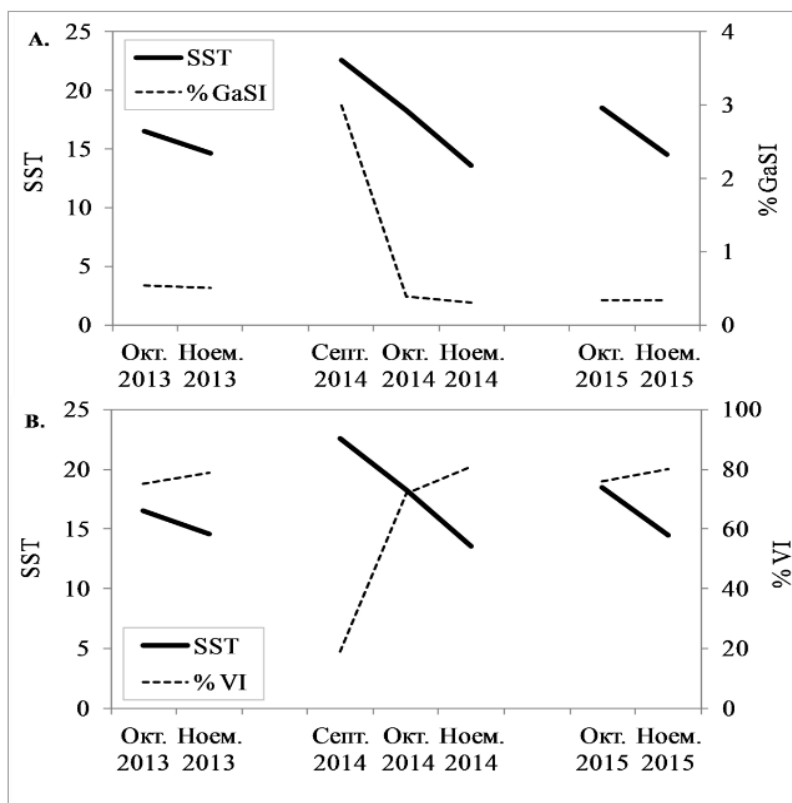


Фиг. 6.1.4. - Средни стойности на индекса на празните стомаси (%VI) по размерни класове на проби от лефер, български сектор на Черно море, 2013-2015 г. Общият брой индивиди, съдържащи се във всеки от размерните класове, е отбелязан над стълбовете.

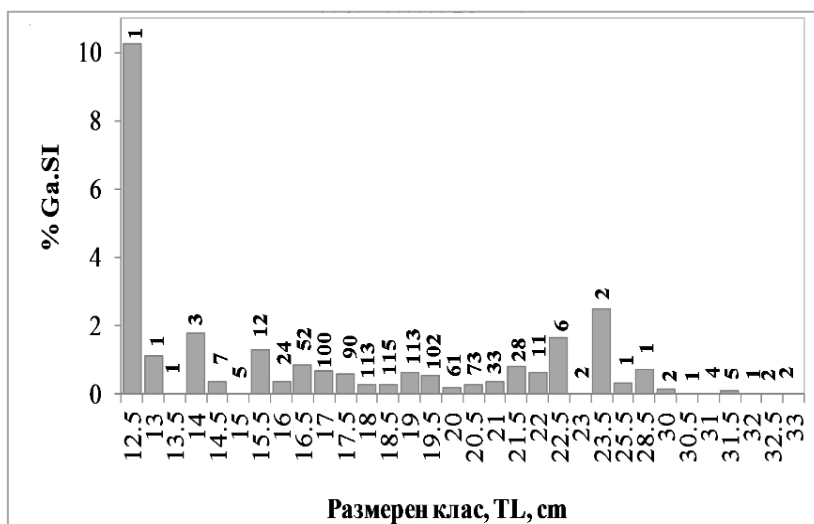
Индексът на празните стомаси (%VI) показва, че преобладаващата част от изследваните индивиди са гладни или сравнително гладни (**Фиг. 6.1.4**). Наблюдаваната тенденция е за понижаване на интензивността на хранене на лефера (описана чрез индексите VI и Ga.SI) с изстудяване на морската вода (**Фиг. 6.1.5a, б**) и с нарастване на линейните размери на тялото (**Фиг. 6.1.6**).

Индивидуалната консумация (CN и CW) на лефера, изразена като функция от размера на тялото му, показва тенденция за намаляване по посока на по-едрите

екземпляри. Тази тенденция е по-ясно изразена при средния брой погълнати жертви (CN) (Pearson's $r=-0.493$; Spearman's $\rho=-0.381$), отколкото при средното количество погълната биомаса (CW) (Pearson's $r=0.226$; Spearman's $\rho=0.198$) (**Фиг. 6.1.7**).



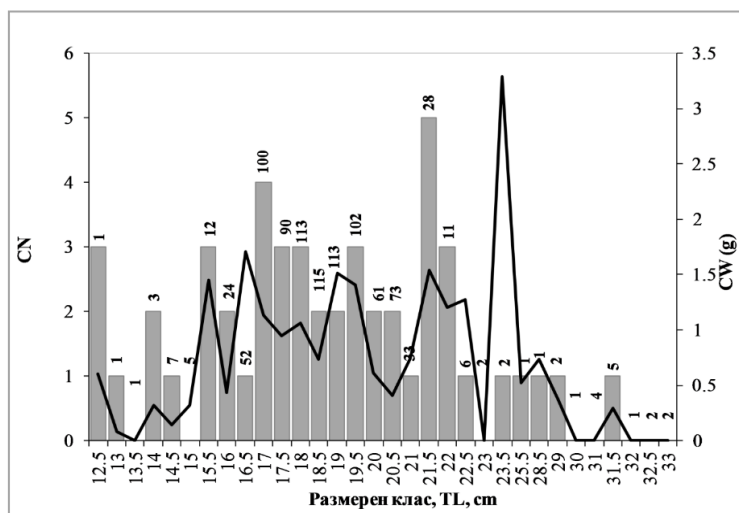
Фиг. 6.1.5. – Времени серии на средните стойности на (А) SST и %GaSI и (Б) SST и %VI. Корелацията на Pearson между SST и %GaSI е равна на 0.795, а между SST и %VI е - 0.863, и двете значими при $p < 0.01$. Корелацията на Spearman между SST и %GaSI е 0.679 ($p < 0.01$), а между SST и %VI е - 0.893 ($p < 0.01$).



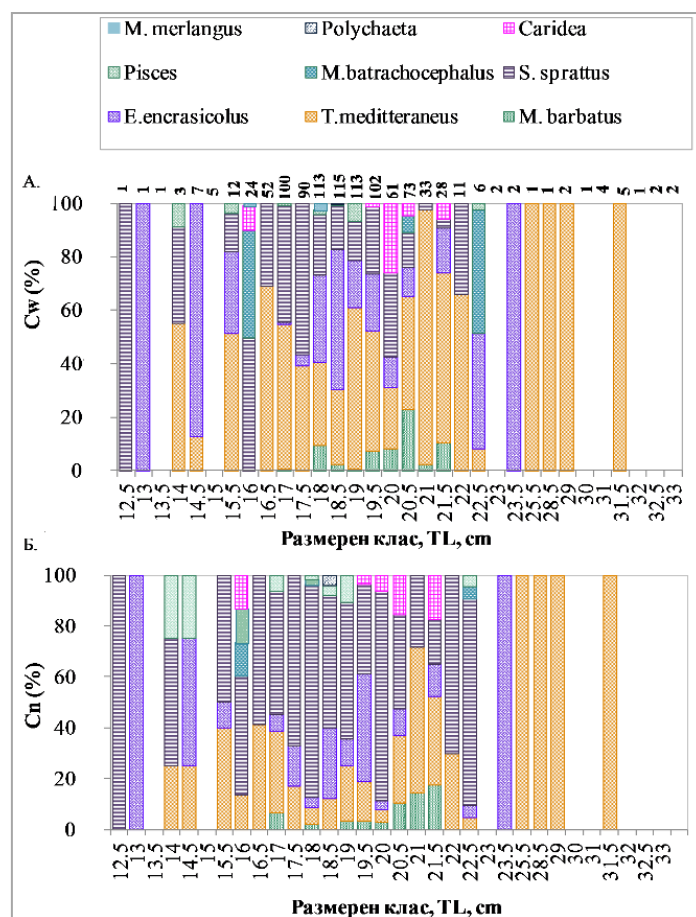
Фиг. 6.1.6. – Средни стойности на гастро-соматичния индекс (% Ga.SI) по размерни класове на проби от лефер, български сектор на Черно море, 2013-2015 г. Липсващите стойности в някои от размерните групи показват липса на храна в тези класове. Общият брой индивиди във всеки от размерните класове е показан над стълбовете.

В стомасите на индивидите от най-големите размерни класове ($TL > 23.5$ cm) единствената регистрирана жертва се оказа сафрида, докато в стомасите на най-малките индивиди (12.5 cm - 16 cm TL) бяха открити предимно трифона и хамсия (*Фиг. 6.1.8 а, б*).

Като хищник от най-висок порядък, месото на лефера се отличава с много високо съдържание на протеини и липиди. От жертвите му най-високо питателни са скумрията, хамсията и сафридът, а най-ниско питателна е трифоната.



Фиг. 6.1.7. – Индивидуална консумация на лефер като функция от линейните размери на тялото му, изразена като среден брой погълнати жертви CN (сиви стълбове) и биомаса CW (черна линия) от един индивид от всеки размерен клас, български сектор на Черно море, 2013-2015 г. Общият брой индивиди, съдържащи се във всеки от размерните класове, е отбелязан над стълбовете.



Фиг. 6.1.8. – Процентно съотношение на (А.) биомасата, %Cw и (Б.) числеността, %Cn на основните хранителни обекти, открити в стомашното съдържимо на лефер през есенния риболовен сезон в българския сектор на Черно море, 2013-2015 г. Общият брой индивиди, съдържащи се във всеки от размерните класове, е отбелязан над стълбовете.

6.1.3. Промяна в нарастването на лефера като резултат от изменена трофична база (Дискусия)

В съвременния период редица автори съобщават за средни дължини и тегла в улови от лефер (Черно, Мраморно, Средиземно море), значително по-ниски от докладваните за миналия период (Turan et al. 2006; Ceyhan et al. 2007; Ozpisak et al. 2017). Наблюдаваната през последните няколко десетилетия редукция в размерите на тялото на лефера, както и преобладаването на млади, полово незрели индивиди (възраст 0) в уловите, най-вероятно се дължат на силната риболовна преса върху запаса на този рибен ресурс. Известен факт е, че основната част от популацията на вида достига полова зрялост на двегодишна възраст (Стоянов 1963; Тараненко 1973; Wilk 1977; Pottern et al. 1989; Ceyhan et al. 2007 и др.). Преобладаването на млади индивиди в уловите на Черно море, както и в уловите на околните морета, е показател за нерационалната експлоатация на запаса от лефер, което от своя страна изисква вниманието на учени и управници от риболовния сектор.

Значението на скумрията в храненето на лефера е докладвано от редица автори (Bigelow, Schroeder 1953; Tortonese 1986; Oviatt 1977; Wilk 1977; Studholme et al. 1999). В историческите изследвания в района на Черно море се посочва, че от първостепенно значение за храненето на лефера са видовете скумрия, сафрид и хамсия (Зашев 1961; Стоянов и кол. 1963; Коларов 1970). Възможно е възрастните лефери да са консумирали

и млад паламуд (Prodanov et al. 1991). По принцип рибите с големи размери на тялото се нуждаят от по-големи количества храна (Enberg et al. 2012). Те изискват по-високи количества енергия, като храненето при тях се стимулира от наличието на по-едри жертви (Olla et al. 1970). Количеството и калорийната стойност на хранителните ресурси също оказват влияние върху параметрите на растежа (Коларов 1970; Valiela 1995; Santic et al. 2002). Тази теория на оптималното хранене може да обясни наблюдаваната в настоящото проучване по-ясна тенденция на намаляване на погълнатия брой хранителни обекти (CN) с увеличаване на линейните размери на тялото на лефера, както и липсата на толкова ясно изразен тренд по отношение на погълнатата биомаса (CW). Вероятна причина за наблюдаваните разлики в нарастването на лефера между периодите 1959-1971 г. и 2013-2015 г. е изчезването на скумрията от Черно море. През 1959-1967 г. запасите от скумрия и паламуд все още са били с висока численост в Черно море. Консумацията на тези едри и високо питателни риби е била напълно достатъчна, за да задоволи високите енергийни нужди на лефера. В съвременния период значителна част от храненето на лефера се състои от ювенилна трициона. Предполага се, че нейната хранителна (енергийна) стойност не е достатъчно висока, за да осигури регистрирания в миналия период по-висок темп на нарастване на лефера. Друга причина за слабата интензивност на хранене през 2013-2015 г. може да е ниската численост на сафрида и хамсията. След 1990 г. запасите от тези видове в Черно море значително намаляват (Daskalov et al. 2007). Храненето на лефера (изразено като количество погълната храна) е относително стабилно до стойност на температура на водата от 13.7° C, а когато температурата падне до 12°C, индивидите показват изключително слаб интерес към храна (Olla and Studholme 1975). През есенните месеци на 2013-2015 г. средните стойности на SST в района на Бургаския залив са по-високи от тези критични нива. Наблюдаваната в настоящото проучване ниска интензивност на хранене не може напълно да се обясни само с понижението на SST. Друга причина за това явление вероятно е и ниската численост на запаса от хамсия и сафрид в периода на изследване.

6.2. Хранене на сафрида *T.mediterraneus* пред българския сектор на Черно море

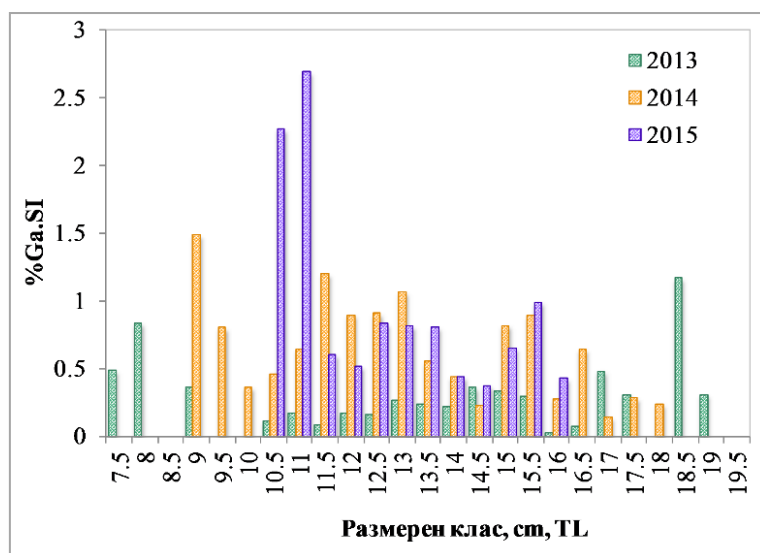
За периода 2013-2015 г. пробите от сафрид, събрани от района на Бургаския залив, се състояха от индивиди, принадлежащи на размерни класове от 7.5 до 19.5 cm. От всички анализирани 1293 стомаси, 50% (652 бр.) се оказаха празни.

6.2.1. Интензивност на хранене

Интензивността на хранене на сафрида намалява от пролетните към есенните месеци (*Табл. 6.2.1*). Цялостната тенденция е за намаляване на средните стойности на Ga.SI с увеличаване на размерите на тялото (TL) на рибите (*Фиг. 6.2.3*).

Таблица 6.2.1. Средни месечни стойности ($\pm$ стандартни отклонения; минимални и максимални стойности) на температурата на морската вода (SST), Гастро-соматичния индекс (Ga.SI) и Индекса на празните стомаси (VI) на проби от сафрид за периода 2013-2015 г., Бургаски залив.

Месец/Параметър	SST°C	%GASI	%VI
Май	18.0 (± 2.2 ; 15.8-20.8)	0.38 (± 0.3 ; 0.07-1.01)	57.1 (± 14.6 ; 31.2-71.4)
Юни	20.6 (± 1.9 ; 17-22.7)	0.80 (± 0.9 ; 0-2.46)	33.1 (± 30.6 ; 0-70.4)
Юли	24.7 (± 0.9 ; 23.7-25.6)	0.35 (± 0.2 ; 0.17-0.55)	61.8 (± 7.7 ; 56.3-70.6)
Август	25.9 (± 0.5 ; 25.3-26.3)	0.91 (± 0.8 ; 0-1.6)	11.5 (± 13.1 ; 0-25.8)
Септември	21.9	0.36	37.1
Октомври	17.5 (± 1.1 ; 16.3-18.9)	0.21 (± 0.5 ; 0.06-1.55)	44.2 (± 21.9 ; 14.6-89.8)
Ноември	15.1 (± 0.6 ; 14.7-15.8)	0.20 (± 0.2 ; 0.04-0.47)	45.0 (± 42.7 ; 6.5-82)



Фиг. 6.2.3. - Средни стойности на Гастро-соматичния индекс (Ga.SI) по размерни класове на проби от сафрид, български сектор на Черно море, 2013-2015 г. Липсващите стойности в някои от размерните групи показват липса на храна в тези класове.

6.2.2. Хранителен спектър на сафрида

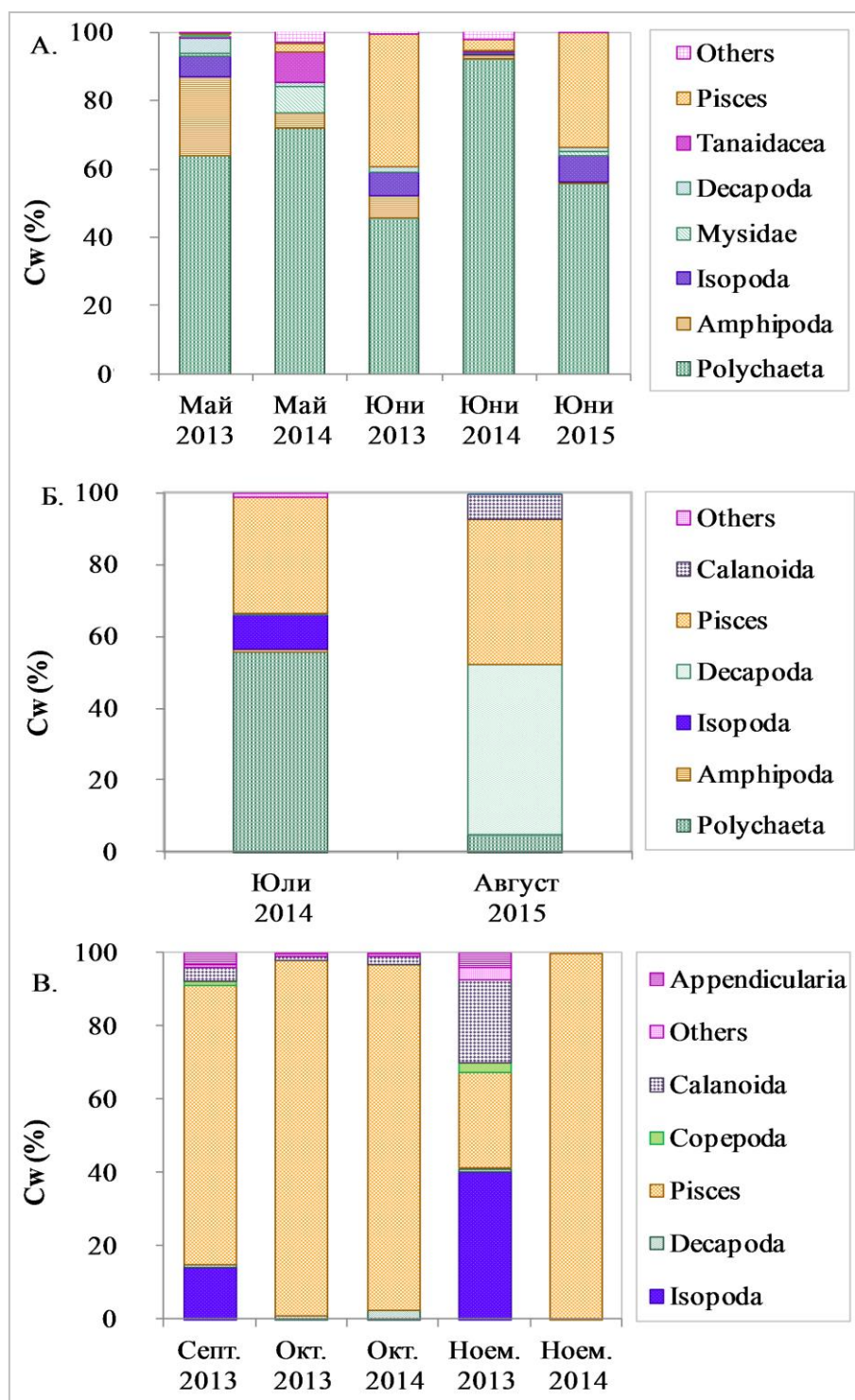
Пролет (май-юни). През пролетния сезон (2013-2015 г.) 47% от анализираните стомаси на сафрид се оказаха празни. Стомашното съдържимо на сафрида се състоеше предимно от бентосни безгръбначни организми (Фиг. 6.2.8а). Бяха регистрирани общо 57 вида, принадлежащи на следните главни таксономични групи: Polychaeta, Crustacea, Hydrozoa, Cephalochordata, Mollusca, Insecta и Pisces. С най-голямо значение в храненето на сафрида бяха хетеронереидните форми на два вида многочетинести червеи - *Neanthes fucata* (Savigny, 1822) (%IRI=48) и *Platynereis dumerilii* (%IRI=18). Линеините размери на сафрида бяха положително корелирани с биомасата на многочетинестите червеи, открити в стомасите ($r=0.496$; $\rho=0.506$), и отрицателно корелирани – с биомасата на рибните компоненти ($r=-0.755$; $\rho=0.800$).

Лято (юли-август). През летния сезон на 2013-2015 г. 39% от изследваните стомаси бяха празни. През това време на годината хранителният спектър на сафрида включваше бентосни безгръбначни, риби и зоопланктонни компоненти (Фиг. 6.2.8б). В стомашното съдържание бяха определени 33 вида, принадлежащи на групите Crustacea, Polychaeta, Rotatoria, Mollusca, Insecta и Pisces. Ларвите на десетокраките раци (Decapoda, %IRI=39), хетеронереидната форма на многочетинестия червей *P. dumerilii* (%IRI=18), както и хамсията *Engraulis encrasicolus* (%IRI=16), имаха най-високи стойности на индекса IRI. Установи се, че с увеличаване на размерите на тялото на сафрида консумацията (като биомаса) на зоопланктонни компоненти се повишава ($r=0.664$; $\rho=0.790$), а тази на риба ($r=-0.583$; $\rho=-0.524$) и многочетинести червеи ($r=-0.578$; $\rho=-0.636$) се понижава (Фиг. 6.2.11б).

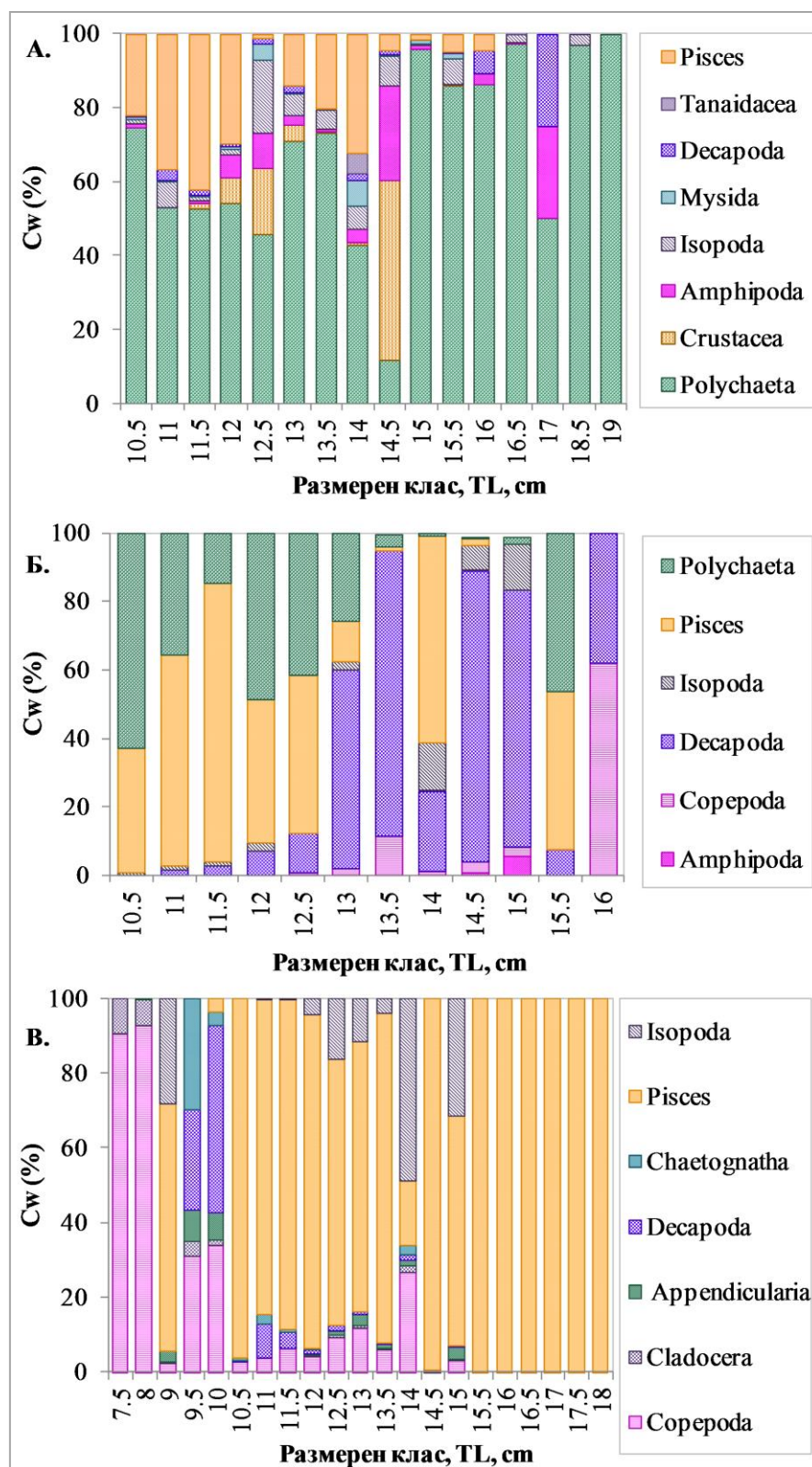
Есен (септември-ноември). През есента 59% от анализираните стомаси се оказаха празни. Анализът на стомашното съдържание показва, че храненето на сафрида през този сезон се състои предимно от пелагични компоненти (Фиг. 6.2.8в). Определени бяха общо 27 вида, принадлежащи към следните групи: Crustacea, Appendicularia, Stenophora, Mollusca, Chaetognatha, Foraminifera, Scyphozoa, Polychaeta и Pisces. Най-високите стойности на IRI бяха изчислени за пелагичния вид *Oikopleura dioica* (%IRI=30), тризоната (%IRI=24), зоопланктонното веслоного ракообразно *Paracalanus parvus* (%IRI=11) и хамсията (%IRI>9). През есента с нарастване на тялото на сафрида се

наблюдава тенденция за намаляване на зоопланктонното хранене (като биомаса) ($r=-0.637$; $\rho=0.799$) за сметка на консумацията на риба ($r=0.715$; $\rho=0.816$) (6.2.11в).

Бентосната фауна, открита в стомасите през май и юни, се обяснява с факта, че по време на пролетната миграция сафридът се придържа към близката крайбрежна ивица до 8-10 m дълбочина, където водите са топли (Георгиев, Коларов 1962; Манолов 1978; Златев 1986) и където лесно може да намери достъпна храна (Стойков 1978). Консумацията на хетеронереидните форми на полихетите от сем. Nereididae има съществено значение за сафрида, тъй като тяхното високо калорийно съдържание е необходимо условие за развитието на половите му жлези (Стойков 1978, Gkenas et al. 2011). Лесният достъп до бентосните червеи, както и високата им питателна стойност, са факторите, определящи представителите на Polychaeta като предпочитана жертва през това време от годината. Това вероятно обяснява и повишената консумация на Polychaeta от най-едрите индивиди, които имат най-висок принос към размножителния процес. През лятото, заедно със затоплянето на морската вода, сафридът се придвижва към по-дълбоките части на морето. През есента поради постепенно настъпващата хомотермия на водата стадата се разпръскват за отхранване на широк фронт, който обхваща цялото българско крайбрежие (Георгиев и Коларов 1962). Лятно-есенният сезон е период, когато зоопланктонните и рибните съобщества имат най-висока продуктивност в Черно море (Valiela 1995). Тези особености могат да обяснят преобладаването на зоопланктонни и рибни компоненти в храненето на сафрида през месеците от август до ноември. Есента е сезон, през който сафридът акумулира високи количества телесни мазнини (Стойков 1978; Златев 1985) - факт, обясняващ повишената консумация на риба. Натрупването на мазнини е необходимо условие за преживяване на зимния сезон.



Фиг. 6.2.8. - Процентно съотношение на биомасата (гравиметричен индекс %Cw) на основните таксономични групи, открити в стомашно съдържимо на проби от сафрид през сезоните : (А.) пролет; (Б.) лято и (В.) есен, български сектор на Черно море, 2013-2015 г.

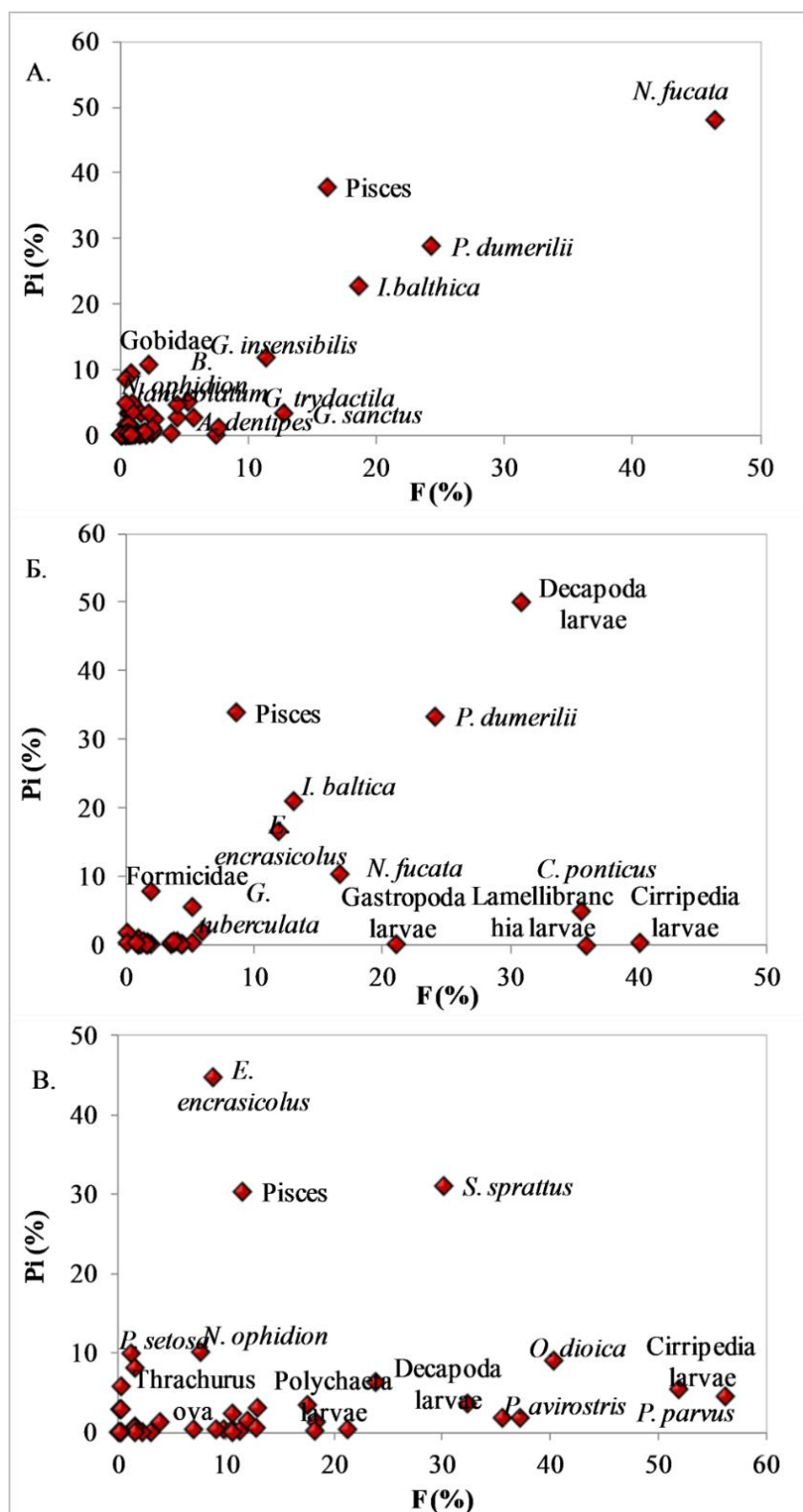


Фиг. 6.2.11. - Средни стойности на гравиметричния индекс C_w (%) на главните таксономични групи в стомашиното съдържимо като функция от размерите на тялото на сафрида през сезоните: (А.) пролет; (Б.) лято и (Б.) есен, български сектор на Черно море, 2013-2015 г.

6.2.3. Хранителна стратегия на сафрида

През 2013-2015 г. сафридът показва смесена хранителна стратегия, с различна степен на специализация или генерализация по отношение на регистрираните жертви (**Фиг. 6.2.17а**). За периода май-юни преобладаващата част от хранителните обекти са консумирани рядко или случайно и могат да се класифицират като маловажни в храненето на хищника. Разположението на *N. fucata* в горния десен ъгъл на диаграмата показва, че сафридът проявява специализация спрямо *N. fucata* на популационно ниво. Рибните компоненти (неопределени), другия най-многочислен червей *P. dumerillii*, както и изоподата *I. balthica* бяха консумирани в умерени количества от около 15-25% от популацията на сафрида. Това свидетелства за наличието на индивидуална (само на част от популацията) специализация на сафрида по отношение на споменатите жертви. През пролетта трофичната ниша на сафрида е тясна (концентрация на точките в долния ляв ъгъл). През лятото ширината на трофичната ниша е малко по-голяма от регистрираната през предходния сезон (точките са разположени към долния десен ъгъл на графиката) (**Фиг. 6.2.17б**). През юли-август се установи, че около 25-30% от популацията на сафрида консумират ларвните стадии на Decapoda, както и многочетинестия червей *P. dumerillii*.

Позицията на Pisces (неопределени) показва известна индивидуална специализация (9%) на хищника спрямо тази група. Останалите регистрирани видове представляват случайна храна (неспесиализирана хранителна стратегия). През есента локализацията на хамсията, триционата и неопределените представители на Pisces в по-горната част на графиката (**Фиг. 6.2.17в**) свидетелства за индивидуална избирателност в храненето по отношение на рибните компоненти. Разпределението на значителна част от хранителните обекти по дължината на оста x, както и в долния десен ъгъл на графиката, означава, че голяма част от индивидите имат относително широка ниша и сходно, неспециализирано хранене.

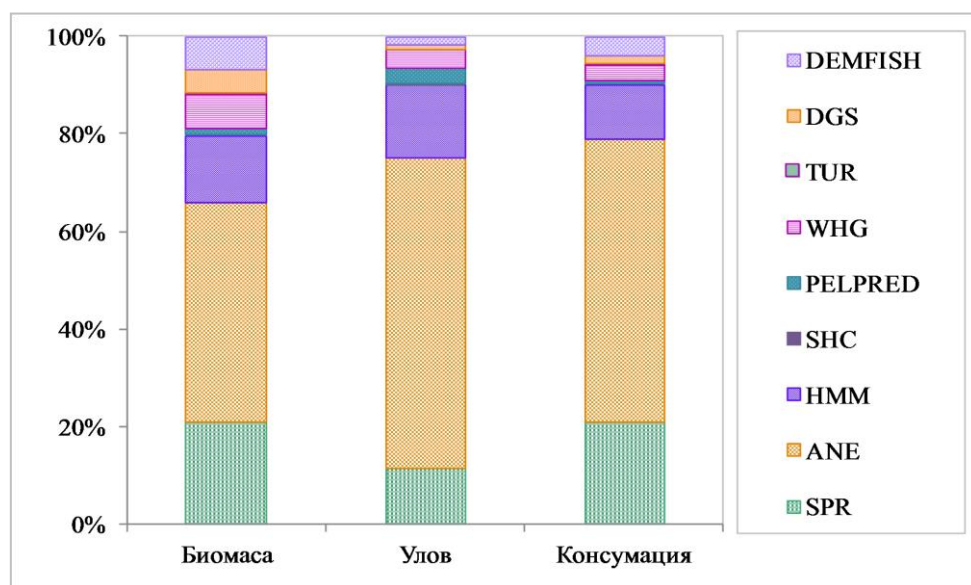


Фиг. 6.2.17. – Модифицирана диаграма (Amudsen et al., 1996), на Costello (1990), представяща специфичната биомаса на жертвите (%Pi), съпоставена срещу Индекса честота на срещане (%F) на хранителните обекти, открити в стомаси от сафрид, за сезоните: (А.) пролет; (Б.) лято; (В.) есен, 2013-2015г., български сектор на Черно море.

6.3. Трофичен модел „Ecopath with Ecosim” (EwE) за Черно море

6.3.1.2. Анализ и характеристики на черноморската екосистема чрез модела EwE

За периода 1990-2010 г. с най-високи биомаси в Черно море са представени малките пелагични риби - хамсия (45%), трицона (21%), сафрид (14%) (*Фиг. 6.3.2*). Общият дял на останалите риби (карагъоз, калкан, меджид, пелагични хищници, черноморска акула и други дънни риби) възлиза на 20%. Подобна тенденция се описва както за уловите, така и за общо консумираната биомаса на изследваните видове вследствие на хищничество.

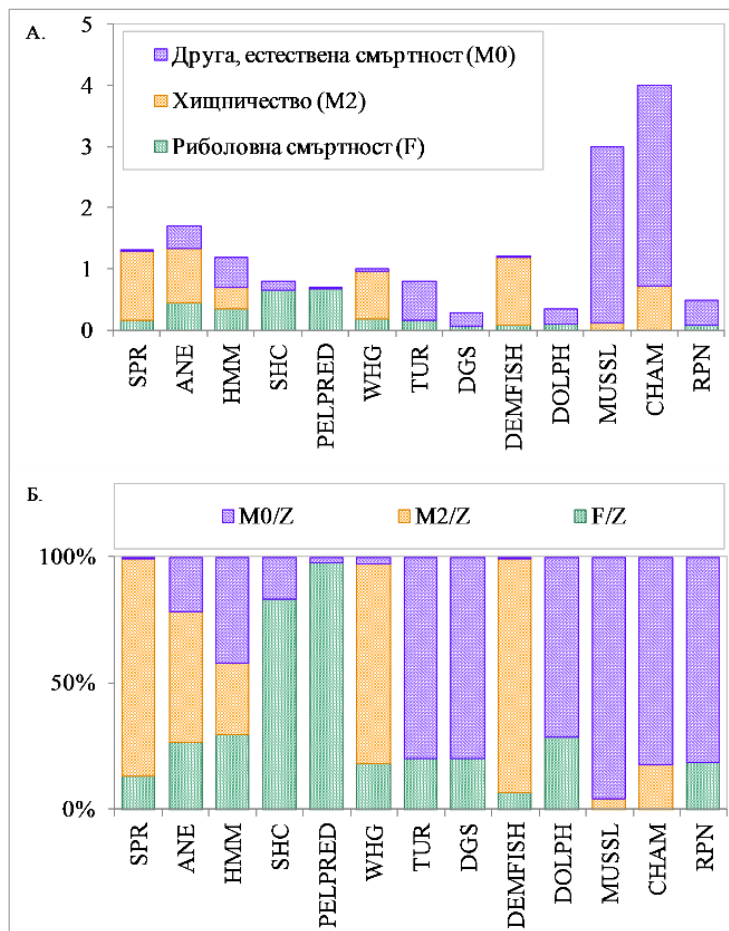


Фиг. 6.3.2. - Структура (%) на биомасата, уловите и общо консумираната от всички хищници биомаса на различни видове риби в Черно море, EwE модел, 1990-2010 г. **Обозначения:** SPR - трицона; ANE - хамсия; HMM - сафрид; SHC - карагъоз; PELPRED - пелагични хищници; WHG - меджид; TUR - калкан; DGS - черноморска акула; DEMFISH - други дънни риби.

6.3.1.2.2. Трофодинамични индекси

Структура на видовете смъртност на промишлените биоресурси в Черно море

От промишлените биоресурси, представени в модела EwE (1990-2010 г.), най-високи стойности на обща смъртност (Z) имат групите на мидите, хамсия, трицона, сафрид, други дънни риби (*Фиг. 6.3.8*). Мидите са подложени на силна естествена смъртност (M0). При рибите с най-високи стойности на естествена смъртност вследствие на хищничество (M2) са групите други дънни риби (M2=1.1), трицона (M2=1.1), хамсия (M2=0.9), меджид (M2=0.7). Риболовната преса е най-интензивна върху запасите от пелагични хищници (F=0.7), карагъоз (F=0.7), хамсия (F=0.45), сафрид (F=0.35) (*Фиг. 6.3.8*).

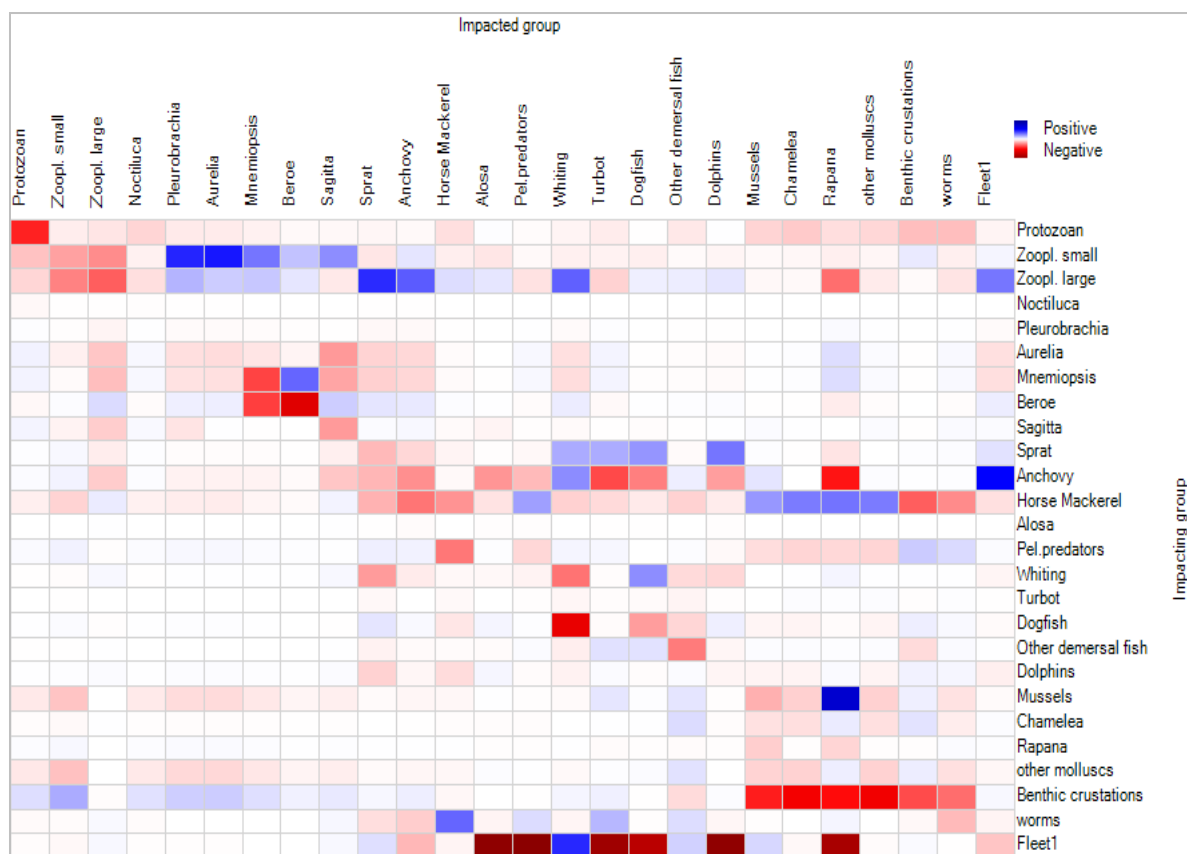


Фиг. 6.3.8. – (А.) Обща смъртност (Z) представена като съвкупност от различните видове смъртност: риболовна (F); вследствие на хищничество (M2); друга, естествена (M0), и (Б.) пропорции на F, M2, и M0 към общата смъртност (Z), на промишлените морски биоресурси, представени в модела EwE за Черно море, 1990-2010 г. **Обозначения:** SPR - трициона; ANE - хамсия; HMM - сафрид; SHC - карагъоз; PELPRED - пелагични хищници; WHG - меджид; TUR - калкан; DGS - черноморска акула; DEMFISH - други дънни риби; DOLPH - делфини; MUSSL – черна мида; CHAM - C. gallina; RPN – рапана.

Индекс на трофично въздействие (Mixed trophic impact)

Това е индикатор, с помощта на който се оценява как промяната в биомасата на един от компонентите в системата ще окаже влияние върху останалите компоненти (Ulanowicz, Puccia 1990; Christensen *et al.* 2005).

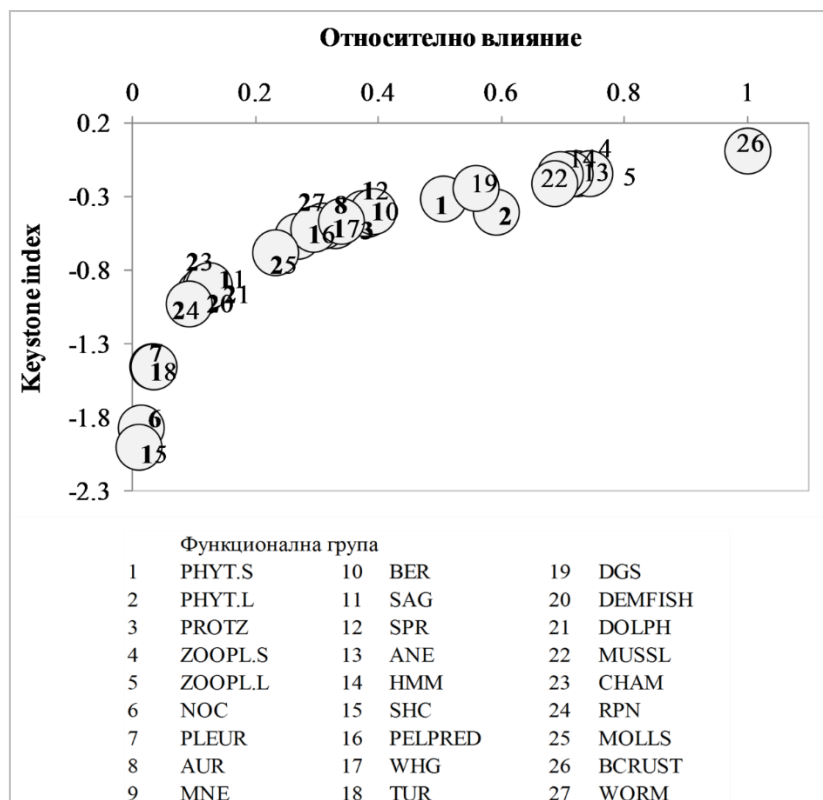
Матрицата на трофичните въздействия може да се използва и като индикатор за директните и индиректните влияния на риболова (Daskalov 2013). Риболовът оказва силно отрицателно въздействие върху запасите на карагъоза (-0.973), пелагичните хищници (-0.953), калкана (-0.871), акулата (-0.762), делфините (-0.930) и рапана (-0.834), и по-слабо - върху сафрида (-0.021) и хамсията (-0.134). Наблюдава се индиректно положително въздействие на риболова върху популациите на трициона (0.059), меджид (0.403) и други дънни риби (0.086) чрез директното (отрицателно) повлияване на биомасата на техните основни консуматори - хищните видове риби. Силното негативно (индиректно) влияние на риболова върху популацията на делфините дори и след забраната на улова им предполага, че прекомерната експлоатация от промишления риболов на малки и големи пелагични риби не оставя достатъчно хранителен ресурс за успешното нарастване на запаса от морски бозайници (Akoglu *et al.* 2014).



Фиг. 6.3.13. - Трофични въздействия между групите на консументите (вкл. риболова) в Черно море, EwE модел, 1990-2010 г. Със син цвят са означени положителните, а с червен - отрицателните въздействия. **Обозначения** – от ляво надясно и от горе надолу: първаци; дребен зоопланктон; мезозоопланктон; *N. scintillans*; *P. pileus*; *A. aurita*; *M. leidyi*; *B. ovata*; *P. setosa*; трициона; хамсия; сафрид; карагоз; пелагични хищници; меджид; калкан; акула; други дънни риби; делфини; черна мида; *C. gallina*; рапана; други мекотели/миди; бентосни ракообразни; морски червеи; риболовна флота.

Индекс „Ключови видове” (Keystoneness), KS

Индексът „Ключови видове” спомага за изследването на функционалния отговор на дадена система спрямо промяната в числеността на определен вид. В модела, използван в това изследване (1990-2010), от ключово значение се оказва групата на бентосните ракообразни (0.01), следвана от зоопланктона (-0.138), хамсията (-0.140) и сафрида (-0.143) (**Фиг. 6.3.14**). Високите стойности на индекса KS за организмите от ниските трофични нива - бентосни ракообразни и зоопланктон - подчертават тяхната определяща роля в трофичния контрол отдолу-нагоре на черноморската екосистема. Тези групи осъществяват връзката между звената на първичните продуценти (фитопланктон и детрит) и по-високите трофични нива (консументите), като по този начин повлияват редица видове риби и безгръбначни с важно екологично и стопанско значение (Hattab et al. 2013). Важната екологична роля на малките пелагични риби (хамсия и сафрид) се обяснява с трофичната позиция, която заемат. Поради разположението им в средата на трофичната мрежа ($3 < TrL < 4$) колебанията в техните биомаси повлияват едновременно както по-долните (контрол отгоре-надолу), така и по-горните (контрол отдолу-нагоре) трофични нива.



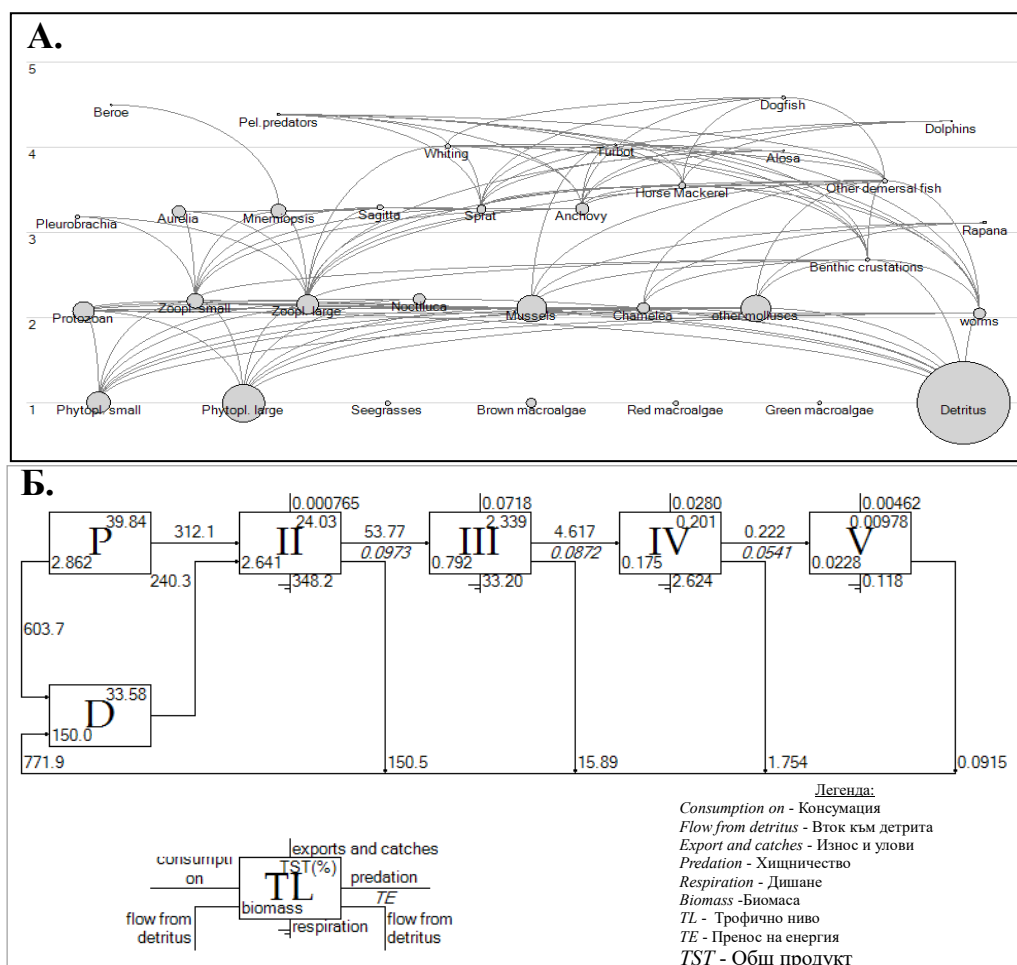
Фиг. 6.3.14. - Индекс "Ключови видове" (Keystoneness index) и относително влияние на функционалните групи в екосистемата, EwE модел за Черно море, 1990-2010 г. **Обозначения:** **PHYT. S** – дребен фитопланктон; **PHYT. L** – едър фитопланктон; **PROTZ** - първаци; **ZOOPL. S** - дребен зоопланктон; **ZOOPL. L** - мезозоопланктон; **NOC** - *N. scintillans*; **PLEUR** - *P. pileus*; **AUR** - *A. aurita*; **MNE** - *M. leidyi*; **BER** - *B. ovata*; **SAG** - *P. setosa*; **SPR** - трициона; **ANE** - хамсия; **HMM** - сафрид; **SHC** - карагъоз; **PELPRED** - пелагични хищници; **WHG** - меджид; **TUR** - калкан; **DGS** - черноморска акула; **DEMFIH** - други дънни риби **DOLPH** - делфини; **MUSSL** – черна мида; **CHAM** - *C. gallina*; **RPN** - рапана; **MOLLS** - други миди; **BCRUST** - бентосни ракообразни; **WORM** - морски червеи.

Трофична диаграма на черноморската екосистема

Трофичната мрежа на Черно море е изградена от четири основни трофични нива, всяко от които се състои от различен брой поднива (**Фиг. 6.3. 15a**). Като цяло моделът EwE показва намаляване на биомасите с увеличаване на TrL. Наблюдават се две основни енергийни пътеки. Първата е т.нар. пасищна хранителна верига, състояща се от групите фитопланктон, зоопланктон, първаци, желеобразен зоопланктон (*Pleurobrachia*, *Aurelia*, *Mnemiopsis*, *Beroe*), *Sagitta*, малки пелагични риби (трициона, хамсия, сафрид), пелагични хищници, делфини, акула, морски бозайници. Втората е детритната хранителна верига, която е изградена от групите детрит, миди, бентосни ракообразни и червеи, рапана, дънни риби, калкан. Общият вток енергия, произлизащ от детрита и първичните продуценти, е значително по-висок от произлизащия от групите на консументите. В хранителните мрежи на повечето морски екосистеми преобладаващата част от потоците енергия са съсредоточени между TrL 1 и TrL 2 (Whitehouse et al. 2014). Това се дължи на високата продуктивност на фитопланктонното съобщество, а също и на големия детритен басейн. В Черно море групите на детрита и първичните продуценти съставляват 74% от общата сума на потоците енергия (TST) на системата (**Фиг. 6.3.15.б**). На TrL 2 се полагат 23% от TST. TrL 2 е съставено от групите на бентосните безгръбначни (56%), зоопланктона (22%) и първаците (22%, Protozoa, *Noctiluca*). От същото ниво произлизат най-големият вток на енергия към групата на детрита и най-високата ефективност на преноса на енергия (TE).

Групите на желеобразния зоопланктон (30%), малките пелагични риби (30%), другите дънни риби (10%), *Alosa* (10%), *Sagitta* (10%) и *Rapana* (10%) изграждат TrL 3, на което се полагат 2.3% от TST. Най-високите улови също се полагат на това трофично ниво, следвани от уловите от TrL 4. Най-нисък принос (<1%) към TST има TrL 4, към което спадат хищните видове риби (67% дял биомаса), меджид, калкан, пелагични хищници, акула), морските бозайници (17%) и ктенофората *Beroe ovata* (16%).

По отношение на биомасата, малките пелагични риби представляват съществен компонент от трофичната мрежа на екосистемата. Сравнително високата бентосна биомаса може да се обясни със съществуването на тясна връзка между пелагичните и бентосните компоненти в системата (Grebmeier 2012; Whitehouse et al. 2014). По-ниските скорости на усвояване на фитопланктон от зоопланктона стават причина за утаяване на значителна част от първичната продукция в седиментите, откъдето последната става лесно достъпна за потребление и поддръжка на бентосните съобщества (Whitehouse et al. 2014). Известен факт е, че силно проявените бенто-пелагични връзки са отличителна характеристика на експлоатираните екосистеми от континенталния шelf, които са подложени на силен риболовен натиск (Hattab et al. 2013). Това е допълнително потвърждение на факта, че в Черноморския регион рибните запаси са интензивно експлоатирани (GFCM 2015; 2017; STECF 2017).



Фиг. 6.3.15. - Разпределение на потоците енергия и материя в черноморската екосистема, представени чрез (А.) трофична диаграма (flow diagram) и (Б.) диаграма на Линдеман (Lindeman spine), EwE модел, 1990-2010 г. **Обозначения:** **P** - първични продуценти и **D** - детрит - трофично ниво 1; **II** - трофично ниво 2; **III** - трофично ниво 3; **IV** - трофично ниво 4; **V** - трофично ниво 5.

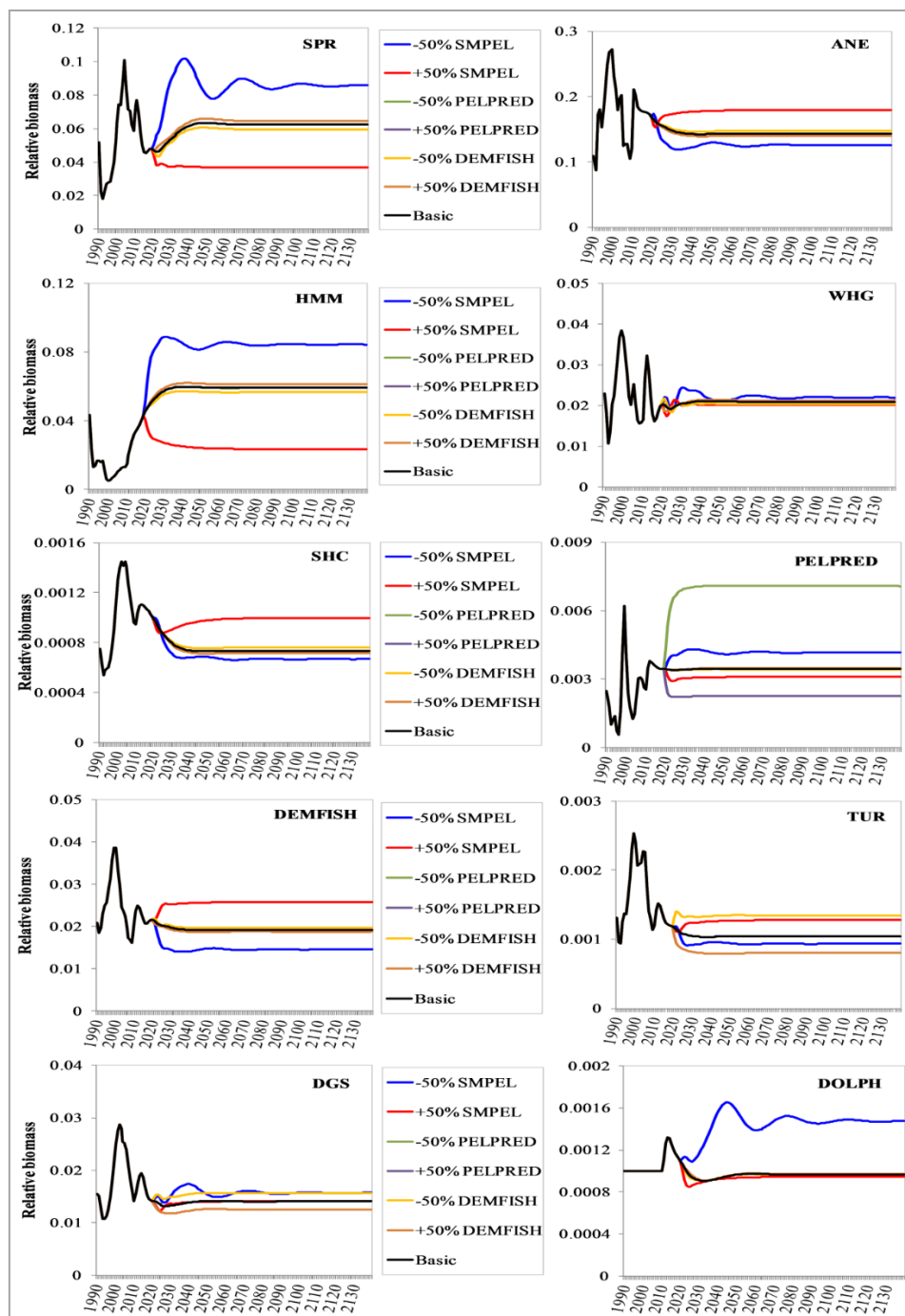
Индикатори, описващи общото състояние на екосистемата (Ecosystem indicators)

Основна предпоставка за изследване на екосистемите е определянето на стадия им на зрялост, който дава информация за тяхната стабилност (Fayram et al., 2006). Резултатите от моделирането показват, че за периода 1990-2010 общата сума на потоците в екосистемата (TST) е сравнително нисък - 2323 gC/m²/y; съотношението обща първична продукция/общо дишане (TPP/TR) е почти два пъти по-високо от нуждите за поддържане на екосистемата - 2.38, което означава, че в системата се произвежда повече органична материя, отколкото се оползотворява. Чистата продукция (NSP) е с високи стойности - 531.7 gC/m²/y⁻¹, както и съотношението обща първична продукция/обща биомаса (TPP/TB) – 141 gC/m²/y⁻¹. Това предполага ниски нива на акумулирана биомаса при висока продуктивност, вероятен резултат от висок биогенен вток (Torres et al. 2013). Стойностите на индексите всеядност за цялата екосистема (SOI) - 0.135 и индекс на Фин (FCI) – 5.2 са сравнително ниски, което показва, че трофичната верига не е много разклонена, консументите се хранят предимно на едно трофично ниво и има малко на брой реализирани трофични връзки. В Черно море основната част от TST е представена като потоци към групата на детрита (33.2%), следвани от процесите на консумация (27.35%), износ извън системата (вкл. улови, 22.9%) и дишане (16.5%), което означава, че значителна част от живата биомаса в екосистемата отива в детритния басейн (Torres et al. 2013). Ниските стойности на съотношението на общия улов към първичната продукция (GE=0.0001) показват, че в Черно море значителна част от първичната продукция не се трансформира в риболовни добиви (Hattab et al. 2013). Така например необходимата първична продукция за поддържане на риболовните улови (PPR/TotPP) се равнява на 6.5% (59.3 gC/m²/y⁻¹) от общата първична продукция (вкл. детрита). Основните фракции от необходимата първична продукция (PPR) се оползотворяват за поддържане на уловите от хамсия, трифона, сафрид, меджид, пелагични хищници (паламуд и лефер). Резултатите от моделирането също така показват, че голяма част от малките пелагични риби - основен риболовен обект - активно се консумират от хищните видове риби (пелагични хищници, акула, меджид и др.), което предполага наличието на силни конкурентни взаимоотношения между тези групи и черноморския риболов. В съвременния период (1990-2010 г.) най-висок процентен дял от общия черноморски улов се полага на TrL 3 (планктоноядни риби) - 71%, докато добивът от TrL 4 (хищни риби) се равнява на 28%. За периода 1990 - 2010 г. средната ефективност на преноса на енергия (%TE) между отделните трофични нива в системата се равнява на 7.71%. Този процент е по-нисък от характерната средна стойност за този показател в морските екосистеми (10%) (Pauly and Christensen, 1995), което показва, че прехвърлянето и разпределението на енергийните потоци в системата са бавни, като голяма част от енергията се запазва и натрупва в детритния басейн (Deng et al. 2015).

От резултатите дотук може да се заключи, че черноморската екосистема се характеризира със сравнително ниска степен на зрялост. Причина за това са драстичните нарушения в структурата и функционирането на системата, причинени от интензивните процеси на еутрофикация и риболов в края на 20^{-ти} век, но също и значителното количество сладки води, вливащи се в морето – източник на постоянен биогенен вток.

6.3.2. Ecosim

Резултатите от динамичните симулации показаха промени в биомасите на промишлените биоресурси (*Фиг. 6.3.20*). Предсказаните тенденции в уловите на промишлените видове риби следват почти същите тенденции като биомасите.



Фиг. 6.3.20. - Резултати от моделираните симулации (променено риболовно усилие), изразени като относителна биомаса (Relative biomass) ($Cg\ m^{-2}$) за отделните функционални групи, включени в модела, за периода 1990-2140 г., Черно море. Сценарий 1 (-50 F% SMPEL) (синя линия) изразява намаляване на риболовното усилие за малките пелагични видове (трициона, хамсия, саффрид) с 50%; Сценарий 2 (+50 F% SMPEL) (червена линия) - редуциране на риболовното усилие за малките пелагични видове с 50%; Сценарий 3 (-50 F% PELPRED) (зелена линия) – редуциране на риболовното усилие за пелагичните хищни риби (лефер, паламуд) с 50%; Сценарий 4 (+50 F% PELPRED) (лилава линия) - увеличаване на риболовното усилие за пелагичните хищни риби с 50%; Сценарий 5 (-50 F% DEMFISH) (жълта линия) - намаляване на риболовното усилие за дънните видове риби (меджид, калкан, акула, други дънни риби) с 50%; Сценарий 6 (+50 F% DEMFISH) (оранжева линия) - увеличаване на риболовното усилие за дънните видове риби с 50%; Сценарий 0 (Basic) (черна линия) - основен модел. **Обозначения:** SPR - трициона; ANE - хамсия; HMM - саффрид; WHG - меджид; SHC - карагьоз; PELPRED - пелагични хищници; DEMFISH - други дънни риби; TUR - калкан; DGS - черноморска акула; DOLPH – делфини.

Моделът предсказва, че ако риболовното усилие се запази непроменено, в бъдеще системата ще поддържа средна биомаса на малките пелагични видове (трифона, сафрид, хамсия) и ниска численост на групите пелагични хищни риби, карагъоз, дънни риби (меджид, попчета, барбуня, калкан, акула) и делфини (**Фиг. 6.3.20**). Най-големи промени в биомасите се проектират при Сценарии 1 и 2 (увеличаване и намаляване на риболовната смъртност на малки пелагични риби). Сценариите, свързани с увеличаване и намаляване на риболовната смъртност на пелагичните хищни (Сценарии 3 и 4) и дънни (Сценарии 5 и 6) риби, ще имат ефект предимно върху техните популации, като измененията в биомасите на останалите компоненти в модела ще са почти идентични с промените, предсказани от основния модел (Сценарий 0) (**Фигури 6.3.20**). Причина за това е ниската численост на запасите от тези хищни риби в Черно море и оттук липсата на съществена хищническа преса върху популациите на техните жертви (Daskalov et al. 2012).

Особено силно изявено е влиянието на малките пелагични риби върху останалите компоненти на трофичната мрежа. Съществените промени в биомасите на малките пелагични риби (трифона, хамсия, сафрид) като отговор на измененото риболовно усилие се дължат от една страна на факта, че тези видове са тясно свързани със своите хищници и жертви, а от друга - че имат високи биомаси и експлоатация в системата (Daskalov et al. 2012).

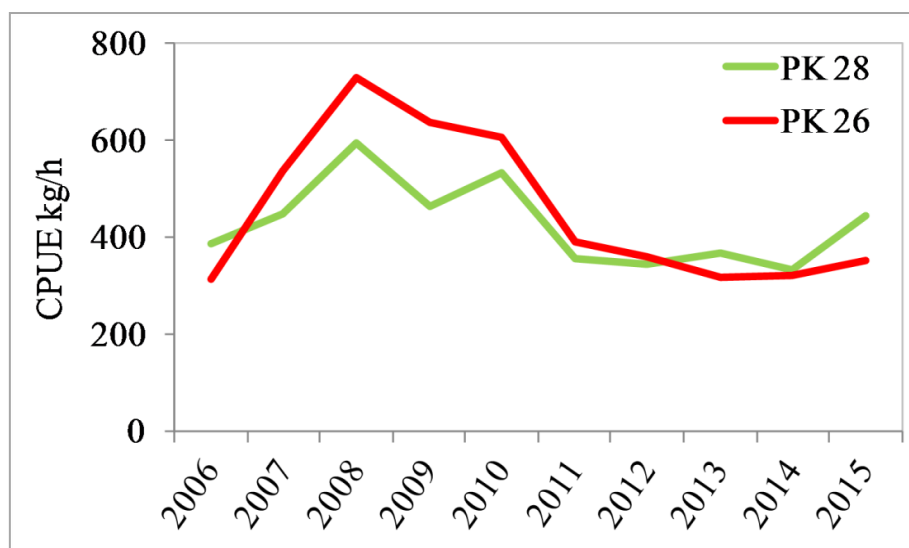
6.4. Анализ на риболовното усилие и улова за единица риболовно усилие при трифоната (*Sprattus sprattus*)

Резултатите от t-теста показаха значими разлики в дневните стойности на индексите „улов за единица риболовно усилие“ между РК 26 и РК 28 (**Таблица 6.4.1**)

Таблица 6.4.1. Резултати (стойност на параметъра p) от t-тест (Student's two sample t-test; two tails; unequal variances) на дневните стойности на индексите „улов за единица риболовно усилие“ (CPUE, kg/h) на РК 26 и РК 28. Представени са различни комбинации от месеци в най-активния трифонов период (март-август). В розов цвят са отбелязани резултатите с $p < 0.05$.

Година/Период	Март-Авг	Апр-Авг	Май-Авг	Май-Юли	Юни-Авг
2006	0.76841	0.76841	0.82939	0.09235	0.89464
2007	0.00249	0.00157	0.00643	0.02851	0.01730
2008	0.07834	0.09946	0.00272	0.00161	0.00071
2009	0.03560	0.05390	0.13303	0.75624	0.37924
2010	0.03306	0.04283	0.10810	0.19138	0.15139
2011	0.02605	0.03181	0.02103	0.01052	0.40152
2012	0.10988	0.10812	0.26327	0.03372	0.28507
2013	0.03973	0.04282	0.09075	0.13845	0.02515
2014	0.83463	0.98525	0.78170	0.71329	0.97294
2015	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00015

До 2012 г. средните годишни стойности на индекса CPUE за РК 26 надвишават тези на РК 28 (**Фиг. 6.4.1**). Обратна тенденция, с по-високи средни стойности за РК 28, се наблюдава през последните три години от изследването (2013-2015 г.).

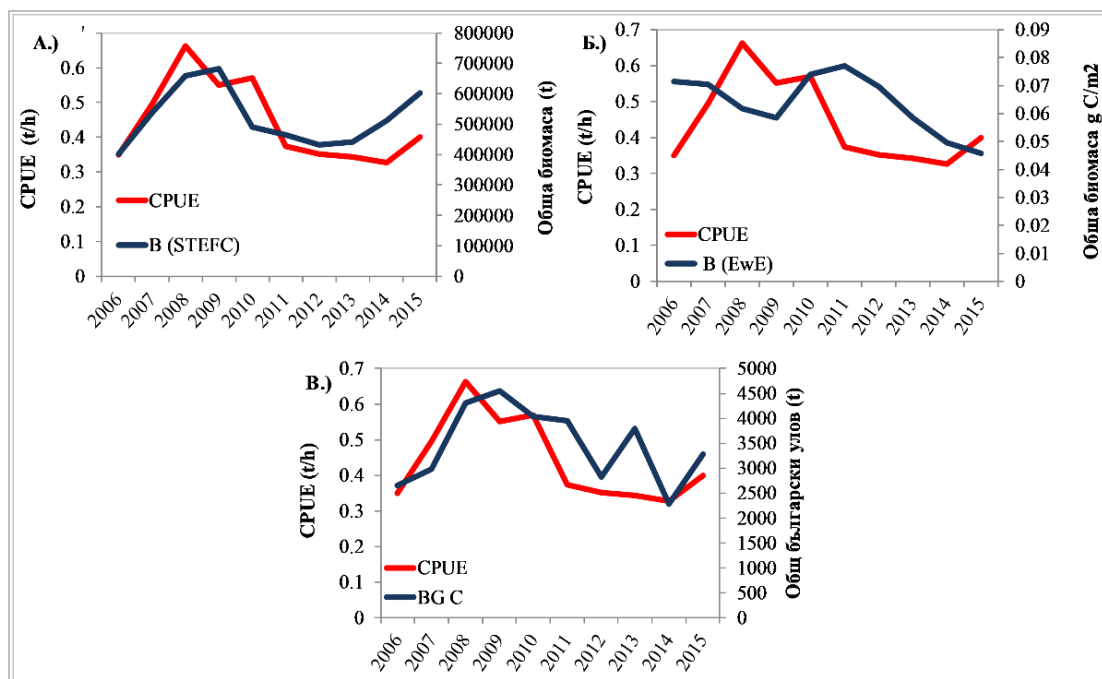


Фиг. 6.4.1. - Средни стойности на CPUE индексите (kg/h) на РК 26 (червена линия) и РК 28 (зелена линия) за периода 2006-2015 г.

6.4.4. Зависимост между параметрите „улов за единица риболовно усилие” - обща биомаса и общ български улов на трицоната в Черно море

Графичните криви, описващи общата биомаса на трицоната в Черно море (STECF 2017), общите български улови и осреднените стойности на CPUE индекса за двата риболовни кораба РК 26 и РК 28 показаха значителна синхронност през анализирания период (2006-2015 г.) (**Фиг. 6.4.13а, в**). Това свидетелства за добрата достоверност и обработка на суровите данни (общи улови и работни часове), използвани при настоящия анализ. Общите улови са важен показател за състоянието на запасите от даден вид. Големината на общия улов обаче не винаги е директна мярка за реалното състояние на биоресурсите, защото уловите зависят от риболовното усилие – високите улови може да са резултат от по-продължителна риболовна дейност.

Зависимостта между CPUE индекса (осреднен за РК 26 и РК 28) и биомасата на трицоната, предсказана от модела EwE, е значително по-слаба (**Фиг. 6.4.13б**). При калибрацията на EwE моделите много често се получава известно влошаване на съответствията между реалните и предсказаните от модела данни за едни функционални групи за сметка на подобряването за други. Многовидовите модели са подходящи за правене на дългосрочни прогнози в динамиката на биологичните ресурси, както и за изследване на цялостната тенденция в запаса от даден вид по отношение на някакъв фактор (симулация). Причина за слабата корелация в настоящия анализ е използването на данни за сравнително кратък период от време за мащаба на многовидовите модели.



Фиг. 6.4.13. – Времени серии, описващи (А) средните стойности на уловите за единица риболовно усилие (CPUE, t/h) (общо за РК 26 и РК 28) (червена линия), и общата биомаса (B, t) на трицоната, докладвана от STECF (2017) (синя линия); (Б) общата биомаса, описана от EwE модела (B, g C/m²) и (В) общите български улови в Черно море.

Дискусия

След 2008-2010 г. се наблюдава тенденция за намаляване на стойностите на индекса CPUE, отчетена и при двата риболовни кораба (**Фиг. 6.4.1**).

Акваториите, в които двата кораба извършват риболовна дейност, значително се припокриват (виж глава Материали и методи, **Фиг. 5.4.1**). Няма съществени различия и в дълбочините, на които са осъществявани риболовните операции. По-високите стойности на индекса CPUE, регистрирани след 2013 г. от РК 28, се оказаха в резултат на смяна на капитана. През 2013-2015 г. няма промяна в местата на тралиране на корабите, не са извършвани и ремонтни дейности по съдовете (смяна или чистене само на един от двигателите, смяна на тралните съоръжения и др.). Най-вероятната причина за по-високите улови, регистрирани от РК 28, е по-високата компетентност на новия капитан. Следователно, уменията на капитана и екипажа са от съществено значение за високата риболовна ефективност на даден риболовен кораб.

Запасът от трицона в Черно море се счита за рационално експлоатиран (GFCM 2012; 2015; 2016). Намалените стойности на CPUE индексите следват тенденциите на общата биомаса, както и на общите български улови на трицона в Черно море. Наблюдаваната редукция на коментираните параметри вероятно отразява динамиката на запаса от трицона в морето - малък пелагичен вид, за който са характерни годишните флуктуации. Занижените добиви трицона на час риболовно усилие през последните години по българското крайбрежие най-вероятно имат и търговски характер, например по-слабо изкупуване на рибата от страна на фирмите поръчители (частно съобщение).

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от настоящия дисертационен труд свидетелстват за необходимостта от използване на различни индекси и показатели при анализа на състоянието на морските

екосистеми и рибните ресурси в тях. Освен конвенционалните параметри за изследване на рибните запаси (размерно-възрастова структура, смъртност и др.), изключително важен елемент за моделирането става изучаването на ектотрофичната структура на екосистемите, т.е. преносът на енергия и материя през различните трофични звена.

За необходимостта от многопрофилно изследване на видовете могат да послужат следните няколко примера:

1. Цитат за лефера от учебника на Зашев Г. (1961) гласи: „Едва ли трябва да се примирим с наличността на този невероятен хищник; би било по-рационално да бъде изстребван с всички средства, разбира се след подробно изучаване на неговата биология (Суворов Е. К)”. Последвалата само след две десетилетия редуция в числеността на върховите хищници в Черно море (вкл. на лефера – считан според цитата за вреден вид) става основна причина за драстичните промени в екосистемата.
2. Въпреки че намалената интензивност на хранене с увеличаване на размерите на тялото при рибите е нормално явление, при лефера това не може напълно да се обясни със стареенето на изследваните индивиди. Пробите от лефер в настоящото проучване са съставени от млади екземпляри (максимална възраст 3 години), преобладаващата част от които най-вероятно не са достигнали полова зрялост.
3. Големият брой празни стомаси е характерна черта на хищните риби, което се потвърди и от нашите резултати при сафрида и лефера. Независимо от това, изключително високият процент празни стомаси при лефера не се дължи само на хищническата му природа, но и на липсата на подходящи хранителни обекти.

В една силно експлоатирана морска система риболовът „консумира” (по подобие на хищниците) значително количество рибна биомаса и повлиява морските биоресурси и „зрелостта” на системата. Моделът EwE за Черно море демонстрира как промените в интензивността на риболова ще имат директни (изнасяне на биомаса от екосистемата) и индиректни (промени в трофичната база на нецелевите видове) последствия върху промишлените рибни запаси. Описаните риболовни сценарии демонстрират, че платформата EwE е подходящ и адекватен способ за изучаване на функционирането на морските екосистеми, както и инструмент за прилагане на различни риболовни решения с цел управление на запасите от експлоатирани видове риби.

8. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

На базата на получените резултати може да се обособят следните изводи и препоръки:

Изводи

1. В сравнение с историческите проучвания, през съвременния период две- и тригодишните лефери се характеризират със значително по-бавен темп на нарастване. Негативните промени в нарастването вероятно се дължат на непълноценното хранене на вида.
2. За периода 2013-2015 в българските улови от лефер преобладават ювенилни и млади индивиди (възраст 0 и 1). Това потвърждава наблюдаваната през последните няколко години тенденция за намаляване на линейните размери на лефера в Черно море.
3. Интензивността на хранене на сафрида корелира с температурата на морската вода и с размерите на тялото на рибите. Независимо от големия брой видове (рядка

храна), открити в стомашното съдържание на сафрида, последният проявява специализирано хранене само спрямо няколко от тях. Високата численост и достъпност през отделните сезони на групи като Polychaeta (пролет), Decapoda (лято) и Pisces (есен), както и високата им питателна стойност - особено на червеите и рибите - са причина последните да бъдат предпочитана храна за сафрида.

4. Според доразработения модел EwE, черноморската екосистема се намира в сравнително ранен етап на зрялост. Ключови за черноморската екосистема се оказаха групите от ниските трофични нива - бентосни ракообразни и зоопланктон. Те имат определяща роля в трофичния контрол (отдолу-нагоре) на системата, като осъществяват връзката между звената на първичните продуценти (фитопланктон и детрит) и по-високите трофични нива (консументите), повлиявайки по този начин редица видове риби и безгръбначни с важно екологично и стопанско значение.
5. Малките пелагични риби (хамсията, триционата, сафрида) са съществен компонент от трофичната мрежа на Черно море и имат важна екологична роля. Тъй като те са разположени в средата на трофичната мрежа, колебанията в техните биомаси повлияват едновременно както по-долните (контрол отгоре-надолу), така и по-горните (контрол отдолу-нагоре) трофични нива.
6. Извършените симулации показаха, че ако експлоатацията на приоритетните за промишления риболов видове риби се запази непроменена, в бъдеще системата ще поддържа средни биомаса и улови на малки пелагични риби, и ниски - на групите пелагични хищни риби (паламуд, лефер), карагъз, дънни риби (меджид, попчета, барбуня, калкан, акула). Включените в модела функционални групи, особено групите на рибите, бързо биха реагирали на промени в риболовните практики. Тези изменения ще са най-силно проявени при промяна в експлоатационния режим на малките пелагични риби.
7. Тенденциите за редукция в биомасите и уловите, предсказани от EwE моделирането (при запазване на настоящия режим на експлоатация), потвърждават тревожните резултати от оценките на рибните запаси в Черно море, според които приоритетните за промишления риболов видове риби са в състояние на свръхулов. Проведените динамични симулации (Ecosim) в настоящия дисертационен труд потвърждават необходимостта от използването на многовидовите модели успоредно с едновидовите, тъй като понякога намаляването на риболовната преса само върху определен ресурс не е напълно надеждна мярка за възстановяване на неговите запаси и численост.
8. Индексът „улов за единица риболовно усилие” бележи тенденция за намаление на добивите от трикона по посока на съвременния период (2006→2015). Установи се положителна корелация между индекса CPUE и биомасата на триционата. Това свидетелства, че CPUE е надежден показател за плътността на рибните ресурси в морето.

Препоръки

1. В Черно море запасите на промишлено важните риби са общ ресурс, който се поделя между отделните черноморски държави (Caddy 2008). Във връзка с това е необходимо прилагането на обща политика при управление на рибните ресурси с цел тяхното устойчиво експлоатиране (Caddy 2008). В Закона за рибарството и аквакултурите на РБ (2017) няма посочени минимално допустими размери за улов на лефер (*minimum landing size, MLS*). Необходимо е предприемане на

консервационни мерки от страна на компетентните органи на национално (Министерство на земеделието, храните и горите на Република България; ИАРА) и европейско ниво (Генерална дирекция „Морско дело и рибарство“, Европейска комисия), с цел редуциране на риболовната смъртност на младите индивиди и постигане на MLS от минимум 20 cm, TL. Подобна мярка е предложена за турския сектор на Черно море (Turkish Ministry of Food, Agriculture and Livestock 2011).

2. Важна стъпка е осъществяването на редовен биологичен мониторинг за оценка на популационното състояние на лефера (размерно-възрастова и полова структура на популацията). За целите на тази задача се изисква събиране на проби от стопанския риболов по сегменти, както и провеждането на научни хидроакустични изследвания (дейности, координирани от ИАРА). За подобряване на качеството на риболовните бази данни (недокладвани съпътстващи улови и изхвърлени екземпляри с малки размери на тялото) необходимо условие става подобряването на комуникацията между научния и рибарския сектори. Като вид с важно стопанско значение, препоръчително е запасът от лефер да бъде регулярно подлаган на оценка от работните групи за Черно море (GFCM, STECF)
3. При създаване на планове за управление на рибните запаси трябва да се взимат под внимание резултати и от двата типа моделиране - едновидово и многовидово. Едновидовите модели изследват един вид и дават информация за настоящото състояние на даден рибен ресурс, както и за директния ефект от риболова. Многовидовите взимат под внимание взаимовръзките между отделните организми и анализират последствията от експлоатацията на един вид върху останалите компоненти на системата (индиректен ефект). Необходимо е и прилагането на екосистемен подход за управление на рибните ресурси за всички черноморски държави с цел осигуряване на тяхната дългосрочна и рационална експлоатация. Възстановяването и опазването на рибните запаси (включително на хищните видове риби) могат значително да допринесат за постигане и поддържане на устойчива и здрава морска екосистема (Daskalov 2007).
4. За целите на моделирането на рибните запаси в повечето случаи индексът CPUE е базиран на брой риболовни кораби, мощност на двигателите, риболовни дни. За подобряване на качеството на прилаганите модели, препоръчително е събирането на по-прецизна информация (дневни улови и часове на тралиране) за изчисляването на този изключително важен показател. Подобряването на качеството, пълнотата и анализа на събираните бази данни е заложено и в основните цели на ЕПУР.

9. ПРИНОСИ

Научни приноси

1. За първи път след 1970^{-те} години са проучени размерно-възрастовия състав и параметрите на храненето на лефера по българското крайбрежие. Като цяло това е слабо проучен вид в Черно море, за чието популационно състояние липсва достатъчно достъпна информация в съвременния период. На базата на сравнителен анализ се установи, че в съвременния период леферът се характеризира с по-нисък темп на нарастване от наблюдавания в историческите изследвания.
2. За първи път е проведено изследване на хранителния спектър на сафрида по българското крайбрежие за сравнително дълъг период от време (три

последователни години). Съставен е подробен видов списък по сезони на спектъра на хранене на сафрида.

3. Настоящият труд прибави нова информация за хранителния спектър на видовете лефер, паламуд и сафрид към модела EwE. Тъй като хранителният спектър на видовете е променлива величина, е необходимо провеждане на редовен мониторинг на параметрите на хранене на рибите, което от своя страна би допринесло за подобряване на качеството на входящите данни, използвани при моделирането.
4. Направена е съвременна оценка на запасите на промишлените ресурси в Черно море с помощта на многовидовото екосистемно моделиране (EwE).

Приноси с приложен характер

От публикуваните за Черно море EwE модели, настоящият обхваща най-голям брой трофични групи и представя най-съвременен период от време. Получените резултати от моделирането свидетелстват, че този тип модели са подходящ инструмент за анализ, оценка и разработване на динамични сценарии в полза на ЕПУР.

Научни публикации по темата на дисертационния труд

1. Georgieva I., Daskalov G. 2015. Comparative Analysis of Catch per Unit Effort of Two Commercial Fishing Vessels Trawling for Sprat (*Sprattus sprattus*) in the Southwestern Sector of the Black Sea. CD-ROM of the 2nd National Food Conference with International Participation-2015. ISBN: 978-954-535-624-7
2. Georgieva Y., Daskalov D.M., Klayn S., Stefanova K, Stefanova E. 2019. Seasonal Diet and Feeding Strategy of Horse Mackerel, *Trachurus mediterraneus* (Perciformes: Carangidae), in the southwestern Black Sea. Acta Zoologica Bulgarica. 71(2); 201-210
3. Georgieva Y., Daskalov D. M. 2019. Shift in growth of an apex marine predator: bluefish *Pomatomus saltatrix* (Perciformes: Potamonidae) in relation to changes in feeding. Acta Zoologica Bulgarica 71 (1); 63-72

Публикувани резюмета от постери и доклади

1. Georgieva I., Karamfilov V., Daskalov G. Retrospective assessment of the ecological status of shallow coastal waters based on chlorophyll-a long-term monitoring data (Burgas Bay, Bulgaria) Varna, Bulgaria. International Conference „MARES2020“; 17-20 September, 2013 (Постер)
2. Georgieva I., Daskalov G. Age-Size and Diet Composition of Some of the Most Commercially Important Fish Species in the Black Sea Basin.Seminar of Ecology with International participation, dedicated to 70 years Union of Scientist in Bulgaria; 24-25 April, 2014 Sofia, Bulgaria (Постер)
3. Georgieva I., Daskalov G. Comparative Analysis of Catch per Unit Effort of Two Commercial Fishing Vessels Trawling for Sprat (*Sprattus sprattus*) in the Southwestern Sector of the Black Sea. 2nd National "Food "Conference with International participation- New Bulgarian University; 20-21 March 2015, Sofia, Bulgaria (Постер)
4. Georgieva I., Daskalov G. Size, Growth and Diet of Bluefish (*Pomatomus saltatrix* L.) in the Black Sea, Bulgaria. Seminar of Ecology with International participation. Union of Scientist in Bulgaria, poster presentation; 23-24 April, 2015, Sofia, Bulgaria (Постер)

Stock assessment and modelling of commercially important fish species in the Black Sea as a basis of the ecosystem approach for marine bioresources management

Yoana Georgieva

Supervisor: Prof. Georgi Daskalov, PhD

Institute of Biodiversity and Ecosystem Research, Bulgarian Academy of Sciences
2 Yurii Gagarin Str., 1113 Sofia, Bulgaria

Summary of PhD Thesis

Species in aquatic ecosystems do not exist in isolation, but are connected via complex trophodynamic relationships. A necessary condition for the description of the functional groups within the ecosystems is the investigation of their population (age-size structure, sex structure, mortality rates, etc.) and ecological characteristics (diet, trophic relationships, position of the species in the complex ecosystem structure). The aim of the present study is to investigate the state of three important commercial fish species - bluefish, horse mackerel and sprat - in the Black Sea, by analysing their age-size structure, growth rate, diet, and catch per unit of effort, as well as to assess the state of the Black Sea ecosystem and its marine bioresources using a mass-balanced model - Ecopath with Ecosim.

A comparative analysis of bluefish growth parameters between the past (1950s-1970s - historical data from the literature) and modern periods (2013-2015 - results from this study), revealed that nowadays, the sexually mature specimens (age 2 and 3) have significantly lower size and growth rate than those reported in historical studies. During the investigated period, bluefish showed poor feeding intensity - 75 % of all examined stomachs were empty. Small pelagic fishes such as horse mackerel and sprat were its preferred food, while in the historical period its preferred prey was the mackerel. The slower growth rate in the modern period might be due to a combination of factors: a shift in the bluefish diet as a result of the disappearance of larger fish like mackerel and bonito, and intensive fishing as evidenced by the predominance of young individuals of age 0 and 1 in the bluefish landings in 2013-2015.

In 2013-2015, the preferred prey groups for the horse mackerel along the Bulgarian Black Sea coast were Polychaeta, Crustacea and Pisces. The horse mackerel's feeding intensity tended to decrease with the cooling of the seawater and the increase in fish body size. The horse mackerel stomachs contained a large number of prey taxa, but most were classified as rare food (generalised diet). The feeding strategy indicated a relative specialisation on only a few prey items such as polychaetes, Decapoda larvae and fish. The horse mackerel's feeding strategy differed between seasons. In the spring, the horse mackerel was mostly benthivorous, in the autumn it tended to prefer fish prey, whereas in the summer it fed on a mixed diet of zooplankton, benthos and fish. These dissimilarities between seasons were probably due to differences in prey availability and accessibility, depth allocation of the predator, and varying nutritional needs of the horse mackerel during different seasons.

The EwE modelling (1990-2010) showed that the small pelagic fish (sprat, anchovy and horse mackerel) have the highest contribution to the total Black Sea fish biomass and catches. The mussels, the small pelagics and the demersal fish have the highest total mortality rates (Z) in the ecosystem. The Black Sea fishery has a strong negative effect on the exploited fish

species. According to the model, representatives of the lower trophic levels such as benthic crustaceans, zooplankton and small pelagic fish are keystone species for the Black Sea ecosystem, and exert bottom-up control on the ecosystem.

The Black Sea trophic diagram consists of four trophic levels, with the highest biomass contribution and energy flows originating from the lower trophic levels due to a high primary productivity. In the Black Sea ecosystem, 73% of the total system throughput (TST) originate from detritus and primary producers (trophic level one, TrL 1); 23% originate from TrL 2 (benthic crustaceans, zooplankton, Protozoa, Noctiluca); 2.3% - from TrL 3 (jellyfish, small pelagics, demersal fish, *Alosa*, *Sagitta*, *Rapana*; and 1% - from TrL 4 (predatory fish, marine mammals). The highest fishery catch - 71% - comes from TrL 3 (small pelagics), followed by 28% from TrL 4 (predatory fish). The Black Sea ecosystem is in an early stage of maturation, indicated by the high values of the indices TPP/TR (total primary production/total respiration), NSP (net system production), and TPP/TB (total primary production/total biomass), and the low values of the indices TST, FCI (Fin cycling index), and SOI (system omnivory index). The average system transfer efficiency (%TE) is 7.7%, where 10% is the typical value for the marine ecosystems, which suggests that the trophic flows in the Black Sea system are slow and a significant part of the system energy is stored in the detritus pool.

The time-dynamic simulations (Ecosim) showed that the changes in the fishing mortality (F) for small pelagics would have the most pronounced effect on the biomass of the functional groups included in the model. This phenomenon could be explained by the fact that the small pelagics have the highest biomass in the system. In addition, they occupy the middle trophic positions in the Black Sea ecosystem, and exert bottom-up and top-down effect on their prey and predators (the so-called wasp-waist control).

The CPUE indices of two commercial fishing vessels trawling for sprat along the Bulgarian Black Sea coast showed significant daily differences. The average CPUEs decreased from 2006 to 2015. Since the sprat stock is considered to be sustainably exploited by the Black Sea fishery, the decreasing trend in CPUEs might be due to the typical biomass fluctuations of the sprat between the years, but could also be a result of the lower demand for sprat by the fishery contracting companies.

The results of this complex study demonstrate the need for multiple indices and indicators, as well as multi-species models, when analysing the status of the marine ecosystems and their fishery resources. In addition to the conventional methods for fish stock assessments such as age-size structure, mortality, etc., the investigation of the trophic structure of the ecosystems – the transfer of energy and matter between the various trophic levels – is an essential element of ecological modelling. The detailed investigation of all these different aspects of the structure and elements of the ecosystems forms the basis of the ecosystem approach to fisheries (EAF).