

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

Елица Валентинова Хинева

**Екологични фактори, лимитиращи разпространението на морските треви от р. *Zostera* в сублиторалната зона на Бургаски залив (Черно море): значение на ветровото вълнение и епифитното обилие**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен  
„ДОКТОР“

По област на висше образование, шифър **4:**  
„Природни науки, математика и информатика“  
Професионално направление шифър **4.3:** „Биологически науки“  
Научна специалност, шифър **02.22.01:** „Екология и опазване на екосистемите“, научно направление „Макрофитобентос“

Научен консултант: проф. д-р Снежана Мончева, ИО-БАН

гр. Варна, .....



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Биология и екология на морето“ към Института по океанология „Проф. Фритьоф Нансен“ на Българска Академия на Науките, състояло се на 17.11.2020г.

Дисертацията е разработена в рамките на свободна докторантура в секция „Биология и екология на морето“ към Институт по океанология - БАН.

Представеният дисертационен труд е с обем от 247 страници текст, съдържа 10 глави, 170 фигури, 32 таблици и 6 приложения. Списъкът на цитираната литература включва 211 заглавия, от които 38 на кирилица, 173 на латиница и 4 интернет сайта.

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

1. доц. д-р Кремена Благовестова Стефанова
2. доц. д-р Ралица Петрова Зидарова
3. проф. дбн Марияна Владимирова Филипова - Маринова
4. проф д-р Надя Георгиева Огнянова-Руменова
5. доц. д-р Гана Минкова Гечева

Резервни членове:

1. доц. д-р Виолин Стоянов Райков
2. проф. д-р Цветеслава Веселинова Игнатова-Иванова

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

*На моите родители*

Благодаря на Бог за обичта и помощта през целия ми път.  
Благодаря на моите родители за обичта, всеотдайната подкрепа, добротата  
и грижата.

Благодаря на моите приятели – Вальо, Наско и Никола, които ми помогнаха  
с доброта, търпение, разбиране и много безкористен труд в трудните  
моменти от подготовката на тази дисертация; те вярваха в нея повече от  
мен.

Благодаря на научния ми консултант проф. Снежана Мончева, за добрите  
идеи и напътствията.

Благодаря на проф. Надя Онянова-Руменова за внимателното отношение,  
добрината и помощта.

Благодаря на колегите от Института по океанология за оказаната помощ.

Благодаря на колегите от Басейнова дирекция „Черноморски район“ и от  
другите басейнови дирекции – работата ми с тях ми даде ценни знания и  
опит.

Благодаря на д-р Чарлз Зайонц, създателя на [realstatistic.com](http://realstatistic.com), и на  
прекрасните хора от SMC – екипа на Института по хидравлика в  
Университета в Кантабрия, Испания – за безкористната помощ и  
търпението.

- Господ е Пастир мой, от нищо не ще се нуждая:
2. Той ме настанява на злачни пасбища и ме води на тихи води,
  3. подкрепя душата ми, насочва ме по пътя на правдата заради  
Своето име.
  4. Да тръгна и по долината на смъртната сянка, няма да се уплаша  
от злото, защото Ти си с мене;  
....“

## 1. Увод

Една от фундаменталните характеристики на жизнената стратегия на бентосните организми е колонизацията на достъпен субстрат и запазването на завладяната територия. Чрез завладяното пространство, те получават практически достъп до всички жизнено необходими условия за съществуване. Отстъпването на бентосните популации от границите на техния хабитат, при влошаване на условията за обитаване, е краен етап в процеса на адаптация към субоптималните условия на средата.

Пространствените граници на местообитанията на водните покритосеменни растения в естествени условия се определят: от плитководната дълбочина на разпространение и дълбоководната дълбочина на разпространение, между които се разполага подходящата за обитаване част от бентала (Koch, 2006). С изключение на случаите на сладководни зауствания (Mathiesen and Nielsen, 1956 цит. по Send-Jensen, 1977), при неповлияни условия, горната дълбочина на разпространение на висшата водна растителност се определя най-често от въздействието на вълнението, а долната граница - от достъпната светлина.

Българският бряг на Черно море, като цяло, е изложен на въздействието на ветровите вълни (Vlachev et al., 2014). Но в Бургаския залив има и защитени от вълнението райони и е подходящ за проучване на ефекта на ветровите вълни върху морските треви.

За намаляване на достъпната светлина под компенсационната точка на тревите и изплитняване на долната им граница, имат значение, както отслабването ѝ през водния стълб, така и засенчването от епифитите.

Наличните примери показват нееднозначност в научната оценка на индикаторното значение на епифитите за нивото на еутрофикация. Различната степен на тяхната реакция свидетелства за локална и сезонна специфичност в отговора на епифитното съобщество, което налага да се оцени индикаторната му приложимост за всеки конкретен случай.

## II. Литературен обзор

Литературният обзор включва обобщение на извършени изследвания в световен мащаб и в Черно море за значението на двата екологични фактора - ветровото вълнение и епифитното обилие за пространственото разпространение на морските тревя.

В литературната справка е акцентирано на моделирането като подход за изучаване на вълновото въздействие върху морските тревя. В моделите за пространствено разпространение на морските тревя, почти неизменно участва двойката „морско вълнение – светлинен климат“ в подкрепа на тезата, че двата фактора очертават най-грубите и най-широките граници на пространствената екологична ниша на видовете, обитаващи меки дъна (Koch, 2006). От прегледа става ясно, че получените оценки за вълновия ефект се основават не на преки измервания, а на статистическо моделиране (Infantes et al., 2009, Sundblad et al., 2014, Schubert et al., 2015). Наборът от обяснителни (независими) променливи варира в зависимост от сложността на модела, като в допълнение към цитираните два екологични фактора могат да бъдат включени още: сезон от годината (Fonseca et al., 2002), наклон на дъното (Brown, 2015), съдържание на фини фракции в седимента, придънни течения, приливи, тангенциално напрежение на дъното, съдържание на органичен въглерод, времепрестой, времетраене на прилива, близост до речни устия, твърд речен отток, придънна температура, лятна повърхностна температура (Grech and Coles, 2010) и др.

При статистическото моделиране на връзката морски тревя – вълнение, последното е представено чрез разнообразни характеристики, корелиращи с неговата сила и интензитет, от които най-често се използват: индекси на експозицията и параметри на вълните. Кolkото повече специфики в разпространението на вълната отразяват индексите на експозиция, толкова прогностните резултати на модела са по-добри (Sundblad et al., 2014). От параметрите на вълните най-често като входящ параметър се използва значителната височина на вълната (Infantes et al., 2009, Callaghan et al., 2015). Най-прилаганите статистически модели са: Баезиева мрежа (Grech and Coles, 2010), генерализирано линейно моделиране (Fonseca et al., 2002, Callaghan et al., 2015), генерализирано адитивно моделиране (Schubert et al., 2015), моделиране на пригодността на хабитата, МАКСЕНТ, събирателни моделиращи платформи, които включват няколко статистически подхода и др. Положителното или отрицателното въздействие на вълните върху покритосеменните видове показва локална специфичност. Там където, условията са силно защитени и

има влияние на пресноводен вток – вълните намаляват риска от хипоксия и аноксия и корелират положително със състоянието на тревите (Rubegni et al., 2013). Ако условията са по-открити – вълните имат лимитиращ ефект (Infantes et al., 2009).

От направения преглед става ясно, че за българското крайбрежие на Черно море, съществуват единични проучвания за ефекта на вълните върху тревните съобщества, като прогнозната акватория на биома на морските тревни (Jayatilake and Costello, 2018) е вероятно надценена.

В литературния обзор са обобщени и проучванията на еутрофикацията върху морските тревни и място на епифитния „отговор“ в този процес. При наличие на подходящи хидродинамични условия и субстрат, темповете на нарастване на морските тревни зависят силно от светлината и биогените (Short F. et al., 1995). Културната еутрофикация повлиява стойностите и на двата фактора, причинявайки каскада от ефекти, чрез разнообразни директни и индиректни начини на въздействие. Основните типове ефекти могат да бъдат обобщени съобразно механизма на действието им върху съответното биологично ниво на организация: физиологично и биохимично, индивидуално, популационно и на ниво съобщество (Martines – Crego et al., 2008).

Светлинния стрес върху морските тревни, причинен от обилното развитие на микроводорасли (в т.ч. фитопланктон) и макроводорасли (напр. Sand – Jensen, 1975; Bultuis and Woelkerling, 1983; Borum et al., 1984; Silberstein et al., 1986; Cambridge et al., 1986; Krause-Jensen et al., 1996; Coffaro and Bocci, 1997, Brush and Nixon, 2002; Hauxwell et al., 2001; Sugimoto et al., 2007), е сочен като един от най-честите механизми за потискане на тревите (Hauxwell et al., 2001; McGlathery, 2001; Nelson, 2009; Moreno-Marin et al., 2016; Han et al., 2016). Twilley et al., 1985 обобщават, че епифитите оказват влияние върху продуктивността, синтеза и акумулацията на резервни вещества и върху оцеляването на покритосеменните, чрез въздействие на достъпната фотосинтетично-активна радиация (ФАР) (напр. Send-Jensen K., 1977; Philips et al., 1978; Balthuis and Woelkerling, 1983; Cambridge et al., 1986, Silberstein et al., 1986), редукция на дифузията на неорганичен въглерод (Send-Jensen, 1977), азот (Cornelisen and Thomas, 2004) и фосфор (Johnstone, 1979). Епифитите повлияват газовия обмен, който се осъществява през листната повърхност на тревите (Brodersen et al., 2015). Harlin (1975) посочва, че епифитите могат да бъдат използвани и като индикатор за условията на средата. Изследванията показват два аспекта на реакцията им към повишените нива на трофност: промяна в обилието (Mathiesen and Nielsen, 1956, цит. по Send-Jensen, 1977, Cambridge et al., 1986, Silberstein et al., 1986, Neverauskas, 1987a, Neverauskas, 1987b, Brandt and Koch, 2003, Franchovitch and Fourqurean, 2007) и в качествения състав (Cambridge et al., 1986).

Съществуват и изследвания, които регистрират слабото им повлияване от биогените в средата (Fourqurean et al., 2010; Terrados and Pons, 2008). Различията в индикаторната стойност на епифитния товар, показват силно изразена локална специфика, обусловена от хидродинамичния режим, растително-ядната преса и други фактори.

### **III. Цел и задачи:**

#### ***III. 1. Цел***

Целта на настоящата разработка е:

- да бъде оценена ролята на ветровото вълнение за разпространението на тревите в Бургаския залив,
- да бъде оценен потенциала на епифитния товар, като индикатор за състоянието на тревното съобщество, в условията на еутрофикационен градиент и
- да бъде разработен индикатор за оценка на риска от настъпване на светлинен стрес за морските тревни, причинен от акумулирания епифитен товар.

#### ***III. 2. Работни хипотези***

Направените проучвания на литературата до момента и установения недостиг на информация за българския бряг позволяват формулирането на следните работни хипотези:

##### **Хипотеза 1:**

Ветровото вълнение ограничава разпространението на морските тревни в Бургаския залив, като определя горната (плитководната) граница на разпространение на полетата.

Антитеза:

Разпространението на тревните полета не зависи от вълнението, а се определя от други екологични фактори.

##### **Хипотеза 2:**

Перифитонното съобщество в условията на еутрофикационен градиент има различен качествен състав и количество.

Антитеза: Акумулираните епифитни товари върху листата на морските тревни, в условията на еутрофикационен градиент, не се отличават по своя качествен състав и количество.

##### **Хипотеза 3:**

Теза: Отслабването на светлината от перифитона пред българския бряг на Черно море се подчинява на закономерност, различна от установените за други райони на световния океан.

Антитеза: Перифитонът предизвиква редукция на преминалата светлина по същата зависимост, която е установена в други райони на световния океан.



### **III. 3. Задачи**

За да бъде постигната тази цел бяха формулирани и изпълнени следните задачи:

1) Да се установи, чрез моделиране, ефектът на морското вълнение върху границите на разпространение на морските тревни, в участъци от крайбрежието с различна експозиция. Да се определят посоките на морските вълни с лимитиращ ефект в изследваните райони.

2) Да се установи качествения състав на масовите компоненти на перифитона, обитаващ изкуствени и естествени (морски тревни) субстрати.

3) Да се опишат последователните етапи от сукцесията на перифитонното съобщество в условията на еутрофикационен градиент. Да се оцени значението на постоянството на субстрата за качеството и количеството на акумулирания перифитон.

4) Да се изследва експериментално зависимостта между обилието на обрастателите в различните етапи от сукцесията на перифитонното съобщество и преминалата ФАР.

### **IV. Материал и методи**

#### ***IV.1. Физико-географска характеристика на района на изследване***

Направената физико-географска характеристика показва, че на сравнително малка площ в Бургаския залив е представено огромно многообразие от местообитания, обусловено от съчетанието на естествените характеристики (релеф, водни обекти и земно покритие на водосборна област, ветрови климат, брегова експозиция и подводен релеф) и антропогенното въздействие (земеползване, зауствания, регулация на пресноводния и твърдия вток, хидротехническо строителство). Това дава възможност полетата от морски тревни да обитават при разнообразни условия. Информацията за антропогенните фактори сочи, че на повечето ПСОВ, заустващи в морето е извършен ремонт, реконструкция и модернизация, и имат стъпала за отстраняване на азот и фосфор. Болшинството от речните течения, вливащи се в морето са със сравнително малък дебит и оказват локално въздействие. С водеща роля в натиска от точкови източници са каналът, свързващ ез. Мандра със залив Форос и р. Ропотамо, тъй като видимо имат най-голям дебит.

Прегледът на състоянието на биологичните съобщества показва, че зообентосът има най-добре балансирана структура на съобществото. Най-ярко отклонение от класическата таксономична структура, типична за неповлиян от еутрофикация период, показват фитопланктонът и зоопланктонът – в по-ниска степен. Макрофитите в едни райони запазват отчасти балансирана структура, а в други е протекъл процес на деградация, съпроводен със смяна на доминантите и загуба на ценните, доминирани от чувс-

твителните видове, съобщества. Тук съществуват зони, където локални фактори поддържат „много лошо“ и „лошо“ състояние. Тяхното въздействие е с ограничен пространствен ефект и не засяга зообентосните и планктонните ценози в дълбоководието, но поради малкия обхват на местообитанията на макрофитите, негативното влияние на тези „локални“ източници е съществено и изисква специално внимание.

#### ***IV.2. Изследване на значението на ветровото вълнение за разпространението на морските тревни в Бургаския залив***

##### **IV.2.1 Определяне на параметрите на морското ветрово вълнение**

За характеризиране на особеностите на ветровия режим са използвани моделни данни за посока и сила на вятъра на височина 10 м над морското равнище, за периода от 01.01.2012 до 06.09.2017г., от модела NOMADS, NOAA <http://www.nomad3.ncep.noaa.gov/>, достъпни, чрез Отдел за дистанционни методи за изследване към Морски Хидрофизичен Институт, Руска Федерация, за точка с координати: 28°0'0" и.д., 42°50'0" с.ш. Оценката на най-вероятната скорост на вятъра и вероятността за наблюдение на вятър със скорост по-висока от зададен праг е направена с разпределение по Вейбул. Параметрите на функцията са пресметнати по метода на Erf (energy pattern factor) (Kidmo et al., 2015). Скоростта на вятъра, с най-висока повторяемост е избрана за входящ параметър при изчисляване за условията на „дълбока вода“. Пробезите на вятъра, т.е. свободното пространство в дадено направление, където вятърът може да се движи безпрепятствено над водната повърхност (Roghwerder et al., 2012) са изчислени с резолюция 10 м. Стойностите на вълновите параметри в условията на „дълбока вода“ са изчислени съобразно препоръките в Кабатченко и кол. (2018). Получените параметри на вълната в условията на „дълбока вода“ са използвани като входни данни за модула OLUCA-MS на софтуерния продукт SMC v. 2.5.

##### **IV.2.2 Извеждане на зависимост между придънната орбитална скорост и горната граница на полетата**

Моделирането на връзката между придънната орбитална скорост и присъствието на морски тревни е направено с използване на генерализиран линеен модел, чрез приложението Real Statistics Resource Pack software (Release 5.4). Copyright (2013 – 2018) Charles Zaiontz. [www.real-statistics.com](http://www.real-statistics.com).

##### **IV.2.3 Картиране на границите на полетата от морски тревни**

Информацията за местоположението на горната граница на тревните полета е получена с помощта на GPS Garmin EchoMap CHIRP 42 с еднолъчев ехолот, честота 200kHz и е валидирана със спускаема камера Aqua Vu micro

micro 5 DVR – за районите: Несебърски залив, залив Форос, залив Ченгене скеле, Созополски залив. При дълбочина на водния слой по-малка от 0,60 м, границата е определена чрез обход и засичане на точки с ръчен Garmin GPSmap 64. В залив Вромос местоположението на горната граница е определено по снимки от GOOGLE Earth.

### ***IV.3. Изследване на качествения състав и количеството на перифитона върху изкуствен и естествен субстрат***

#### **IV.3.1. Пробонабиране и анализ на проби от морски треви**

Пробите от морски макрофити са взети съгласно методиката описана в Dencheva and Doncheva (2014). Видовата идентификация на макроводораслите е извършена съгласно Димитрова-Конаклиева (2000), Зинова (1967), Косинская (1948), Brodie et al. (2006). Видовата идентификация на *Zostera* sp. е съгласно Den Hartog and Kuo в Short and Duarte (2001). Скоростта на листния обмен е определена въз основа на връзката между относителната повърхност на листата и тяхната продуктивност (Хайлов и кол., 1992 и Duarte, 1991).

#### **IV.3.2. Експериментална постановка на полеви експеримент за обрастване**

За оценка на перифитонното обрастване са използвани колектори от изкуствен субстрат (Stanckelis et al., 1999). Районите за поставяне им са избрани с цел да се покрие градиент в нивата на еутрофност, който предизвиква „отговор“ у морските треви на популационно равнище (Karamfilov et al., 2019) (фиг. 1).



Фиг.1 Район на експеримента.

Таблица 1. Описание на пробите за качествен състав и количество на перифитона по изследвани райони

№	Район	Период	Продължителност на експозиция, дни	Брой проби
Качествен състав:				
1	Форос - вт	07.05.16 – 22.9.2016 11.09.17 – 22.9.17	4,8,22 и 63	12
2	Форос - вн	07.05.16 – 22.9.2016 11.09.17 – 22.9.17	4,8,22 и 63	12
3	Маринка	07.05.16 – 22.9.2016 11.09.17 – 22.9.17	4,8,22 и 63	12
4	Градина	11.09.17 – 22.9.17	4,8,22*	3
5	Ропотамо	07.05.16 – 22.9.2016 11.09.17 – 22.9.17	4,8,22 и 63	12
Количество:				
1	Всички	07.05.2016 – 22.9.2016 17.06.2017 – 22.9.2017	4,8, 15, 22, 45, 63	223

\***Забележка:** Колекторите оставени за период от 63 дни в район „Градина“ не бяха намерени.

За определяне на диатомовите, пробите от естествени и изкуствени субтрата са обработени съгласно методологичните препоръки в Taylor et al. (2007). За оценка на процорцията на видовете в качествения състав са изброени минимум 400 клетки.

Имената на всички видове организми са съгласно базата-данни WORMS (World Register of Marine Species: <http://www.marinespecies.org/>).

Измерването на отслабването на ФАР, при преминаването ѝ през епифитния комплекс върху колекторите е извършено по методика описана в Stanckelis et al. (1999) и Franckovitch et al., (2005).

#### IV.3.3 Статистическа обработка на резултатите

Анализът на данните за разнообразие и обилие на диатомовите е извършен със софтуерния продукт PRIMER-E V.6 Ltd, Plymouth. За характеризирание на видовото разнообразие на диатомовите са използвани индекс за видово разнообразие на Shannon – Wiener и индекс на изравненост на Pielou (Clarke and Warwick, 2006). Вариацията в общата таксономична отличителност (присъствие/отсъствие на видовете в пробите) е изчислена по (Clarke and Warwick, 2006).

Ординационният анализ на съобществата от диатомови е извършен, чрез прилагане на принципен компонентен анализ (“R” софтуер,

“Factoextra”). Идентифицирането на потенциални индикаторни видове е направено въз основа на оценка на приноса на видовете за различие между пробите (SIMPER, Clarke and Warwick, 2006) и чрез подхода indval (Dufrene and Legendre, 1997). За изчисляване на indval е използван модул Indicatorspecies, R-Package “Vegan”.

Анализът на подобие между пробите в степента на засенчване е извършен с ANOSIM, (Clarke and Warwick, 2006).

За търсене на зависимости между разпределението на абиотичните фактори и диатомовите е използван подход за измерване на съответствието в матриците на подобие за биотичните и абиотичните характеристики на експеримента (Clarke and Warwick, 2006), със софтуерния продукт Primer –E, LTD – v.6

Проверката на статистическите хипотези в дисертацията е извършено при прагова стойност на нивото на статистическа значимост на  $p=0,05$ .

При това изследване са направени следните допускания:

1) При изчисляване на вълновите параметри в дълбоководието, се допуска, че вятърът не се променя по посока или скорост за периода от време между отделните отчети.

2) При изчисляване на трансформацията на монохроматичната вълна в условията на „плитка вода“ е прието, че няма приливно-отливни явления и скоростта на теченията е равна на нула. Допуска се, че липсва „затихване“ на вълната при разпространението ѝ през тревното поле.

3) Допуска се, че епифитният и перифитонният филм са съставени от еднородни от оптична гледна точка слоеве (Francovitch et al., 2005).

4) Допуска се, че перифитонът върху изкуствения субстрат, не се различава от този върху естествения субстрат, по отношение на своята оптична активност (Nelson, 2017).

## **V. Резултати и дискусия**

### ***V.1. Разпространение на подводни ливади от морски тревни в плитководната зона на Бургаския залив***

Морските тревни заемат плитки крайбрежни райони пред българския бряг с вълнова експозиция, вариращата от полузащитен до силнозащитен тип бряг, съгласно скалата на CERC, 1977 (Valchev et al., 2014). Наличните естествени полета са концентрирани най-вече в акваторията на Бургаски залив.

Таблица2. Характеристики на полетата, картирани през лятото на 2018г.

№	Поле	Район	Площ, км <sup>2</sup>	Минимална дълбочина, м	Максимална дълбочина, м
1	Свети Влас	Несебърски залив	0,35	2,50	9,60
2	Елените	Несебърски залив	>0,65	3,0	7,60
3	Форос	залив Форос	0,58	0,35	3,00-3,50
4	Ченгене скеле	залив Ченгене скеле	0,32	0,15-0,20	2,50-5,50
5	Градина	Созополски залив	0,25	<1,00-3,50-4,00	>9,00

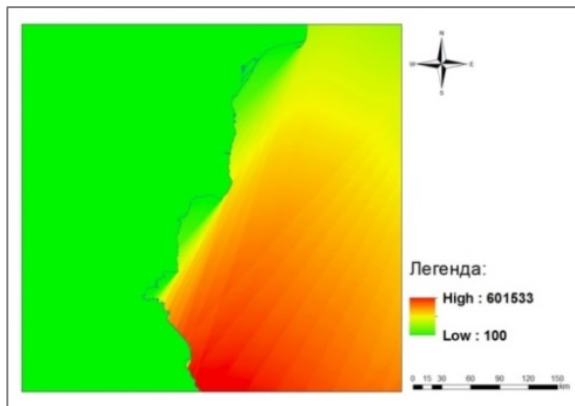
## ***V.2. Значение на ветровото вълнение за лимитиране на разпространението на морските треви в Бургаския залив***

### ***V.2.1 Анализ на режима на вятъра и откритостта на брега към вълнение. Параметри на вълните в условията на „дълбока вода“.***

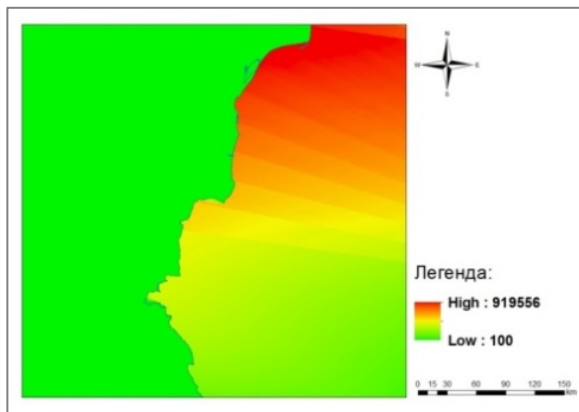
За проверка на хипотезата, че комбинацията от преобладаващата ориентация на брега и доминиращия ветрови режим, чрез ветровите вълни, ограничава развитието на тревите и формирането на обширни полета, е направен анализ на данните за скоростта и посоката на вятъра в точка с координати: 28,00° и.д., 42,50° с.ш. През изследвания период в откритоморската акватория, прилежаща към Бургаския залив са преобладавали ветрове с ориентация *от североизток – север (азимут от 0 до 90)*. С най-голяма относителна честота са били случаите на *„тихо време до слаб вятър“* (0-5,4 м/сек.) В категория *„умерен, свеж“* вятър преобладават ветровете от северна (азимут 0°) и североизточна посока (азимут 40 °), съответно 2,3 и 2,5 % от случаите. С най-малка честота са ветровете с посока югоизток и изток (0,2% от азимут 110 °, 0,3 % азимути 90°, 100°, 120°). В категория *„силен до много силен“* вятър са преобладавали ветровете от 0° до 50° азимут, с повтораемост под 1 процент от случаите. Отчитайки общата ориентация на брега, потенциално лимитиращо значение за морските треви се очаква да имат вълните насочени към сушата, породени от ветрове, духащи от азимути от 0° до 180°. Анализът на данните за скоростите на вятъра (разпределение по Вейбул) показва, че най-вероятните скорости са изцяло в категорията *„слаб вятър“* с изключение на азимути 170° и 180°, които са в диапазона *„умерен, свеж“*. Ветровете от север, североизток и изток са по-вероятни, но са със

сравнително по-малки скорости. Ветровете от югоизток и юг (азимуты 140-180) са по-малко вероятни, но когато се наблюдават - скоростите са по-високи. Кумулативната вероятност за ветрове от категорията „умерен, свеж“ и „силен“ вятър със скорост  $>7$  м/сек, като цяло нараства от азимут 0 към азимут 180, с изключение на азимуты 10, 20, 30 и 50, където вероятността е нулева.

Максималните стойности на *ветровите пробези* за българския бряг са от азимуты от  $30^\circ$  до  $110^\circ$  (фигури 2 и 3)



Фиг.2 Пробег(м) азимут  $30^\circ$ .



Фиг. 3 Пробег (м), азимут  $110^\circ$ .

Въпреки, че в Бургаския залив се наблюдават дълги пробези, сравнително ниските скорости на най-често наблюдавания вятър са причина най-често да са вълните с малка височина, период и дължина. Максималните средни стойности на параметрите на вълната в дълбоководната зона са - средна височина- 0,46 м, средна дължина - 18,82 м, среден период - 3,2 сек, от азимут 160°, при скорост на вятъра 6,4 м/сек (Несебърски залив). Минималните средни стойности са - средна височина - 0,11 м, средна дължина - 4,01 м, среден период - 1,6 сек, от азимут 50 °, при вятър - 2,9 м/сек, (Созополски залив).

### **V.2.2. Разпространение на вълните в условията на „плитка вода” и моделиране на връзката между придънната орбитална скорост и горната граница на тревите**

Съчетанието на конфигурацията на брега и наклона на дъното създават индивидуален вълнови микроклимат, поради явленията рефракция и отражение. В обсега на носовете и близката акватория вълните имат достатъчна скорост и енергия да въздействат върху дъното и да ограничат заселването на тревите. В районите на вълновата сянка, оказвана от носовете, вълните се разпространяват с по-малка скорост, височина и дължина и съответно ефектът им върху дъното е по-слаб - създават се „тихи” условия за заселване на морските треве.

Придънната орбитална скорост е факторът, който съчетава в себе си ефекта на пробегата, преобладаващото направление на вълните и техните характеристики, ефекта на дъното и конфигурацията на брега. Тя е подходяща за търсене на зависимост в пространственото разпространение на морските треве (Infantes et al., 2009).

Бургаският залив предлага „пъстра картина“ от местообитания на морските покритосеменни, в които факторът ветрово вълнение, оказва различен ефект и определя различните граници на разпространението им. Избраните за моделиране райони представляват извадка, покриваща различните типове условия за обитаване: най-открит район - Несебърски залив (северен бряг), район с остров - Созополски залив, район със значителен пресноводен вток - Форос, най- силнозащитен район - Ченгене скеле (устието р. Маринка).

Резултатите от статистическото моделиране са представени в таблица 3:

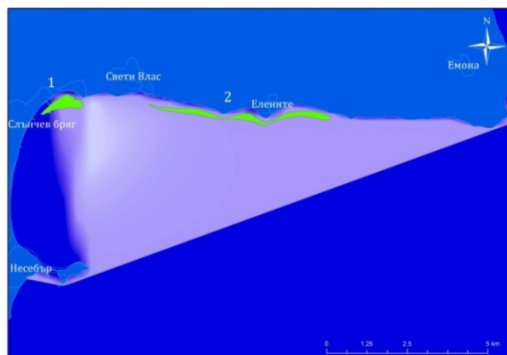


Таблица 3. Резултати от статистическото моделиране между придъзната орбитална скорост и горната граница на полета от морски треви. Коефициентите  $b_0$  и  $b_1$  са коефициентите на правата, намерена по метода на максималното правдоподобие, AUC (area under the ROC curve) – площ под ROC –кривата.

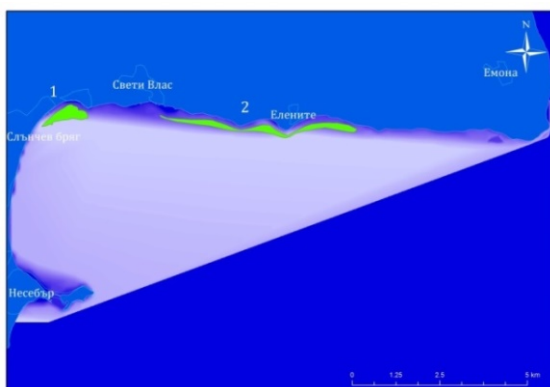
№	Азимут	Коефициент $b_0$	Коефициент $b_1$	Процент познати случаи	AUC	Оценка на дискриминативната способност по Hosmer and Lemeshow, 2000
<b>Несебърски залив</b>						
1	90	5,49	-207,88	91	0,97	отлична
2	100	5,22	-65,88	90	0,90	много добра
3	110	4,02	-249,02	92	0,92	отлична
4	120	4,15	-233,24	92	0,98	отлична
5	130	5,66	-93,46	92	0,98	отлична
6	140	6,09	-76,30	92	0,98	отлична
7	150	5,24	-91,53	91	0,98	отлична
8	160	7,46	-47,00	90	0,98	отлична
9	170	4,56	-135,57	92	0,98	отлична
10	180	5,16	-110,73	91	0,98	отлична
<b>Свети Влас</b>						
1	90	0,40	-58,68	65	0,76	задоволителна

№	Азимут	Коефициент b0	Коефициент b1	Процент познати случаи	AUC	Оценка на дискриминативната способност по Hosmer and Lemeshow, 2000
2	100	6,90	-78,58	91	0,97	отлична
3	110	2,18	-134,63	86	0,93	отлична
4	120	2,17	-120,45	85	0,93	отлична
5	130	2,92	-50,76	83	0,92	отлична
6	140	3,08	-41,21	82	0,91	отлична
7	150	2,63	-49,36	82	0,91	отлична
8	160	3,51	-24,40	79	0,89	много добра
9	170	-0,08	-19,25	63	0,50	лоша
10	180	0,06	-32,24	44	0,53	Лоша
<b>Созополски залив</b>						
1	20	0,81	-38,9	68	0,50	лоша
2	30	1,24	-41,9	75	0,61	лоша
3	40	1,95	-55,5	79	0,75	задоволителна
4	50	1,43	-209,9	75	0,76	задоволителна
5	60	1,56	-68,2	80	0,75	задоволителна
6	70	2,04	-25,8	82	0,70	задоволителна
7	80	1,43	-6,17	72	0,62	Лоша
8	90	0,02	6,33	63	0,62	Лоша
<b>Залив Форос</b>						
1	40	1,15	-51,918	79	0,72	задоволителна

№	Азимут	Коефициент b0	Коефициент b1	Процент познати случаи	AUC	Оценка на дискриминативната способност по Hosmer and Lemeshow, 2000
2	60	0,47	-0,51	59	0,62	лоша
3	70	1,53	-209,9	80	0,79	задоволителна
4	80	0,87	-2,61	70	0,75	задоволителна
5	90	1,03	-10,04	74	0,65	лоша
<b>Ченгене скеле – устие на р. Маринка</b>						
1	20	-0,25	-0,70	56	0,18	лоша
2	30	-0,22	-1,68	56	0,26	лоша
3	40	-0,22	-0,58	56	0,28	лоша
4	60	-0,13	-4,22	56	0,36	лоша
5	70	-0,17	-1,00	56	0,34	лоша
6	80	0	0	44	0,77	-
7	90	0	0	44	0,92	-
<b>Залив Вромос</b>						
1	20	3,12	-82,3	81	0,94	отлична
2	30	4,17	-155,5	85	0,97	отлична
3	40	4,43	-200,3	88	0,97	отлична
4	60	3,47	-175,6	85	0,96	отлична
5	70	8,35	-180,9	91	0,98	отлична
6	80	2,25	-553,6	72	0,74	Задоволителна
7	90	0	0	60	0,38	лоша



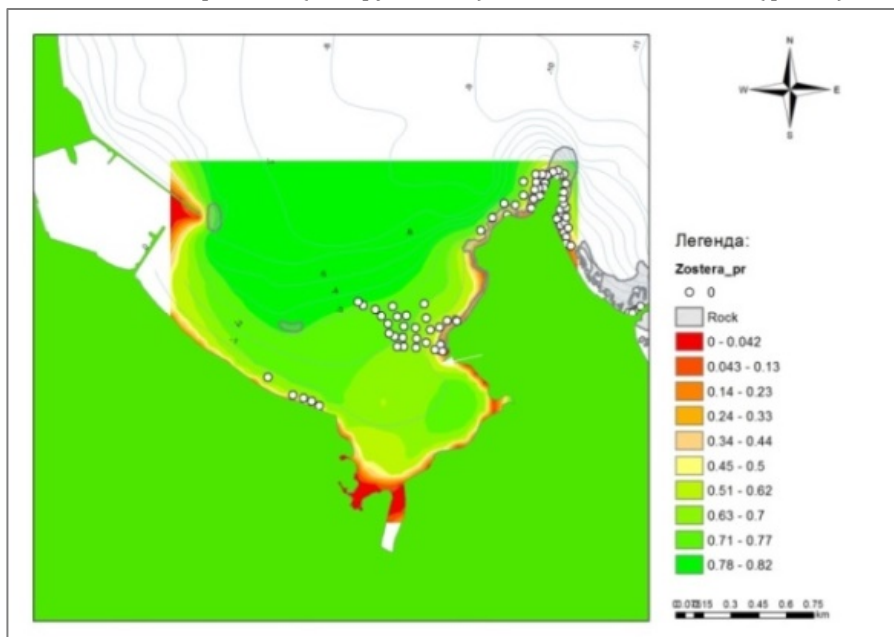
Фиг.4 Разпределение на височината на вълната при подход от азимут  $170^{\circ}$ . Полуостров Несебър създава вълнова „сянка“. Поле „Св. Влас“ – 1, полета „Елените“ – 2. Максималната височина на вълната е в светъл тон, а минималната – в тъмен. Полетата от морски треве са обозначени в зелено.



Фиг.5 Разпределение на вълните при подход от азимут  $100^{\circ}$ . Целият Несебърски залив е открит и за всички полета логистичният модел показва отлична дискриминираща способност. Максималната височина на вълната е в светъл тон, а минималната – в тъмен. Полетата от морски треве са обозначени в зелено.

Вълните, подходящи от азимут от  $90^{\circ}$  до  $180^{\circ}$  лимитират (показват много добра и отлична дискриминативна способност на модела) и получените статистически модели могат да обяснят горната граница на разпространение на тревите в полета „Елените“ (таблица 3). Полето „Свети Влас“ е лимитирано от вълни подходящи от азимут от  $90^{\circ}$  до  $160^{\circ}$ . Тук най-често наблюдаваните

вълнови скорости, подходящи от азимути  $170^\circ$  и  $180^\circ$  не могат да обяснят наблюдаваното разпространение на тревите. Причина за това е „вълновата сянка“, която създава полуостров Несебър (фиг.4). Полето „Градина“ се лимитира от вълните, подходящи от азимути  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$  (задоволителна дискриминативна способност на модела). Остров Свети Иван поражда вълнова сянка при определени условия. Тъй като е твърде малък не може да защити целия бряг. Най-вероятно това е причината в залива да са формирани две полета: „Градина“ и „Созопол - юг“, а не едно непрекъснато. Заливът Форос е открит към североизток – изток, но азимутите с висока честота на повторимост на вятъра  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$  и  $60^\circ$  са с малък пробег и възможността за генериране на високоенергетични вълни е минимална. Отсъствието на морски тревы в участъка, прилежащ към заустването на канала, свързващ езеро Мандра със залива, не може да бъде обяснено с лимитиращото (деструктивно) действие на вълните (фиг. 6).



Фиг.6 Прилагане на модел за оценка на вероятността за присъствие на морски тревы от азимут  $70^\circ$ . Със стрелка е указано мястото, откъдето водите от езерото изтичат към заливната акватория. Районите на отсъствие на тревы са указани с бели точки.

В предустиевия участък на река Маринка (Ченегене скеле) данните за пространственото разпространение на покритосеменните не могат добре да се

опишат от получения статистически модел (табл. 3). Наблюдаваното разпространение на тревите не може да бъде обяснено с ефекта на придънната скорост, тъй като горната им граница (0,20-0,30 м дълбочина) не е лимитирана от вълните, а се определя от дебелината на водния слой. Най-вътрешната, плитка зона е силно чувствителна към осушаване поради сгонни явления и намален речен вток през летните месеци.

Заливът Вромос е открит частично на североизток. От север е защитен от полуостров Поморие и късият пробег ограничава развитието на вълните. При най-често срещаната скорост на вятъра, височината им е едва 0,14 м. От изток е защитен от н. Акра. Вълните, подхождащи от североизток (азимути от 20° до 80°) могат да обяснят наблюдаваното разпространение на тревите в залива: моделите се отличават с отлична до задоволителна дискриминативна способност и достатъчно висок процент верни прогнози. Когато същите подхождат от изток, нос Акра създава вълнова сянка, която обхваща целия залив и не могат да повлияят наблюдаваното разпространение на морските тревисти тук (табл. 3)

Получените зависимости между придънната орбитална скорост при вълна породена от най-често наблюдаваната скорост на вятъра и горната граница на тревните полета, показват различни стойности на дискриминиращата придънна орбитална скорост от 0,16 м/сек („Елените“, азимут 160 °) до 0,01 м/сек и са регионално-специфични (Infantes et al., 2009). Това са статистически изведени прагови стойности, а не физически стойности, които тревите могат да толерират. В други изследвания (преглед в Koch, 2006; Infantes et al., 2009) праговата стойност е по-голяма, което се дължи на това, че авторите са използвали значителната височина на вълната (Infantes et al., 2009; Van Katwijk et al., 2000), която е по-висока от средната. Използваните в това изследване средни параметри на вълната, обаче, добре кореспондират с получените средни стойности на вълнението през летния сезон за западната половина на Черно море (Arkhipkin et al., 2014).

### *3. Оценка на скоростта на листния обмен на род *Zostera* от района на изследване и значението му за особеностите на епифитното съобщество*

Екологичната жизнена стратегия на вида – базифит значително повлиява, формиращото се върху него съобщество на епифити, тъй като постоянството (трайността) на колонизираната повърхност, определя продължителността на съществуване, облика и структурата на епифитното съобщество (Borowitzka et al., 2006). Връзката между: 1) продължителност на съществуване (дълготрайност) листата (Leaf Life Span-LLS) и 2) обилие и състав на епифитното съобщество, чрез механизма на светлинната и UV – защитата

(светлинния стрес), упражнявани от епифитите, има решаваща роля за оцеляване на тревните видове в условия на повишени нива на биогени.

Данните за морфо-динамичните характеристики на тревите получени в настоящото изследване през летния период (м. юни, юли, август, септември) показват, че пластохронният интервал (ПИ - времето между появата на два последователни листа) на вегетативните стръкове на вида *Z. noltei* е средно 1,38 дни ( $\pm 0,04$ ), при среден брой листа на стрък - 4. Продължителността на съществуване на един лист е средно 5,5 дни ( $\pm 0,15$ ), (Таблица 4). За *Z. marina* (брой листа на стрък - 5) продължителността на съществуване на листата е 16,3 достигайки максимум от 28 дни през септември (ПИ = 3,23 дни).

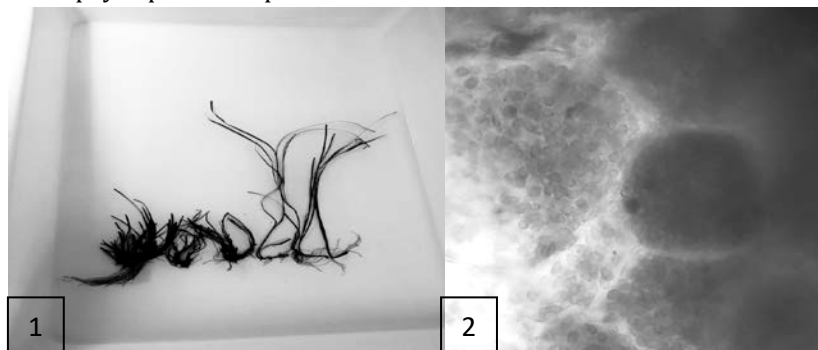
Таблица 4. Морфологични и динамични характеристики на листата на *Zostera sp.* от Българския бряг (по Хайлов и кол. 1992 и Duarte, 1991); см-сухо тегло, мт-мокро тегло, оп – относителна повърхност, ПИ - пластохронен интервал, ТЛ-трайност на листата

Вид	Бр.	Листна повърхност, мм <sup>2</sup> /стрък	ст, мг/стрък	мт, мг/стрък	оп, мм <sup>2</sup> /мг мокро тегло	ПИ, дни	ТЛ, дни
<i>Z. noltei</i>	188	1320,3 $\pm$ 63	38,61 $\pm$ 1,96	141,53 $\pm$ 7,18	19,36 $\pm$ 0,63	1,38 $\pm$ 0,04	5,5 $\pm$ 0,15
<i>Z. marina</i>	35	-	206,69 $\pm$ 88,68	-	-	3,23 $\pm$ 0,69	16,3 $\pm$ 3,43

Изследванията на други автори показват, че видовете от род *Zostera* се характеризират с малка до средна продължителност на съществуване на листата, и че скоростта на листния обмен зависи от сезонните промени в условията на средата, като за умерените ширини повишаването на температурата (пролетно – летен период) влияе обратнопропорционално на трайността на листния субстрат (преглед в Borowitzka et al., 2006, Borum, 1984, Philips et al., 2006, Ribaud et al., 2016). Получените за българския бряг резултати са в съответствие с цитираните по-горе проучвания и показват една от най-кратките стойности на времетраене на листата. От гледна точка на епифитите, *Zostera spp.* осигуряват високо ниво на смущение: епифитите имат много кратък времеви “прозорец”, в който трябва да колонизират субстрата, да достигнат полова зрелост и да се размножат.

Всеки екологичен фактор, който въздейства на скоростта на листния обмен индиректно повлиява и епифитните съобщества. По отношение на *Z. noltei*,

един от тези фактори е паразитът *Plasmodiophora bicaudata* J. Feldmann, 1941. (фиг.7), който забавя листния обмен и благоприятства акумулацията на епифити върху заразените растения.



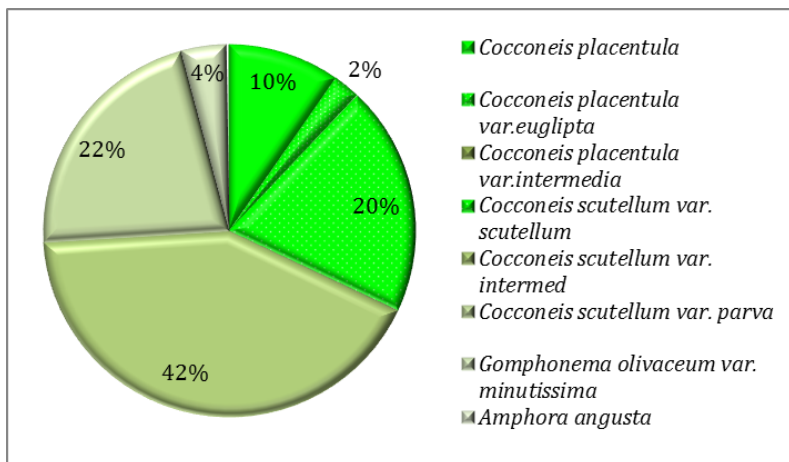
Фиг. 7 Растения поразени от паразита *P. bicaudata*, 1 - (в ляво) и здрави (в дясно) и 2 - спори на паразита в клетките на гостоприемника

#### V.4. Качествен състав на перифитонното съобщество през летния сезон. Сукцесия на перифитона

##### V.4.1 Видово разнообразие на епифитите, обитаващи естествен и изкуствен субстрат

Върху листата на *Z. noltei* са установени общо 11 вида (не са включени вътревидовите таксони). Малката продължителност на съществуване на листата през летния период не позволява формирането на обилен епифитон. Видовото богатство е ниско и е представено преимуществено от нископрофилни диатомови, червени и зелени водорасли (фиг.8.). Диатомеите са доминирани от *Cocconeis scutellum* var. *scutellum* и var. *intermedia*, *C. placentula*, *G. olivaceum* var. *Minutissima* (фиг. 8)





Фиг.8 Качествен състав на диатомовите върху листа на *Z. noltei* - юли, 2016

Върху ПЕТ(полиетилен терефталат)-лентите поставени в морската среда за различно време са идентифицирани общо 63 вида (не са включени вътре-видовите таксони). Преобладаващ дял имат представителите на царство Chromista (51). Огромното им доминиране в състава на перифитонния филм се дължи на клас Bacillariophyceae – най-богатия на видове и вътревидови форми клас, участващ в перифитона (50). По-голямата част от наблюдаваните видове принадлежат към слабоподвижната или неподвижна гилда *sensu* Passy (2007) - ниски, инкрустиращи форми, здраво захванати за субстрата. Тук се отнасят и масовите видове диатомови: *Cocconeis*, *Amphora*, *Halamphora*, *Gomphoneis*, а също така и недиаатомовите водораслови и животински видове: *Ulvella*, *Myrionema*, *Hydrolithon*, *Colaconema*, *Суанорфyceae*, *Botryllus*, *Conopeum*. Подвижната гилда (Passy, 2007) при диатомовите е представена от 13 броя видове: *B. paxillifera*, *Diploneis* sp., *L. lyra*, *Pseudo-nitzschia* sp., *Navicula* sp., *Nitzschia* sp., *P. elongatum*, *F. forcipata*. Високопрофилните (Passy, 2007) видове са 14 (13 диатомови *Licmophora*, *Rhoicosphenia*, *Achnanthes longipes*, *A. brevipes*, *Mastogloia* (в слизести тръбчиковидни калъфчета), *Melosira*, *Synedra* и една цианофицеа - *C. scorulorum*).

#### V. 4.2 Оценка на значението на мястото на експеримента и постоянството на субстрата за особеностите на перифитона

##### Физико-географски градиенти в района на изследване

В избрания район на изследване съществува градиент на трофността, за който е известно, че предизвиква „отговор“ на популационно ниво у морските тревни *Z. noltei* (Karamfilov et al., 2019). Наблюдаваният градиент е обвързан с характера на земеползването и други човешки дейности във водосбора

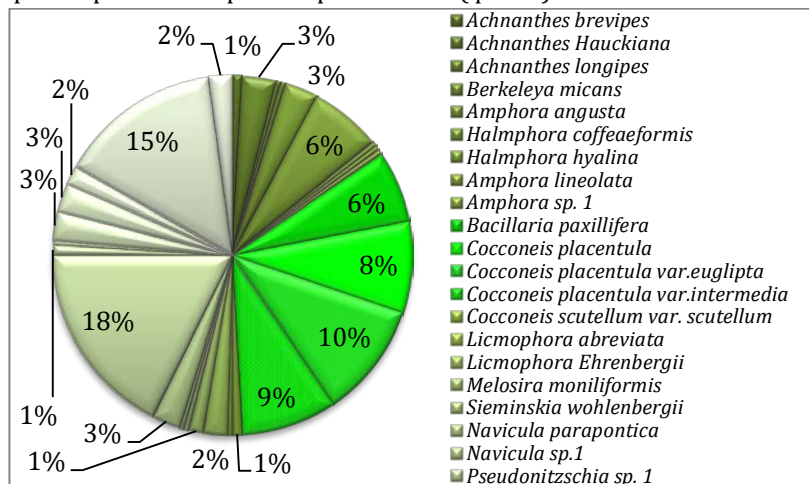
(Karagfilov et al., 2019). Условието на трофност са функция не само на натоварването, но и на самопречиствателната способност на даден район, пряко зависима от времепрестоя на водата и откритостта към вълнение (табл.5).

Таблица 5. Физико-географски фактори, кореспондиращи с уязвимостта към натоварване от наземни източници

Район	Интегрален вълнови пробег, у.е.	Водосбор, км <sup>2</sup>	Индекс на уязвимост към наземни източници (ИУНИ) = водосбор/пробег
Форос вътрешна част	41	2398	58,49
Форос външна част	1990	2398	1,21
Маринка	498	31	0,06
Ропотамо	12762	246	0,02

### Резултати от полевия експеримент за обрастване на изкуствен субстрат

Местата на поставяне на експерименталните субстрати отстоят на различно разстояние от точковия източник, което обуславя и различието в ефекта на повлияване. Най-голямо видово богатство на перифитона се наблюдава за най-продължителен период на експозиция в най – силно натоварения район – Форос вътрешна част (фиг. 9)



Фиг. 9 Качествен състав на перифитона върху ПЕТ-лента – форос вътрешна част, 63 дни

Анализът на данните от заложения експеримент с изкуствен субстрат показва, както общи черти в развитието на сукцесионния процес, така и някои специфични особености:

➤ *При всички субстрати се наблюдава специфично пространствено разпределение на количеството перифитон, което се изменя в хода на обрастването - процесът започва от периферията на субстрата и продължава към централната му част.* Този тип колонизация от ръба към центъра е от особено значение за базифити като морските треви. Колонизацията на епифитите по описания начин предполага най-късно обрастване и засенчване на централната част на петурата. Така формата на листата, наред с другите си адаптивни функции, може да се разглежда и като вид „пасивна“ защита от засенчване.

➤ *Продължителността на съществуване на субстрата определя характера на епифитното съобщество, чието развитие е ограничено във времето.* То е представено от видове, които се появяват през началните етапи на колонизация на нов субстрат – налице е първична екологична сукцесия. В хода на сукцесията постепенно нарастват видовото и функционалното разнообразие на перифитона. Закономерно се увеличава стойността на индексите на биоразнообразие (Shannon-Weaver, H) и изравненост (Pielou, J). Нараства значението на подвижната и високопрофилната гилди, за сметка на нископрофилната, но тя запазва водещата си роля във всички райони с изключение на Ропотамо. Получените резултати са в съгласие с хипотезата, че в първоначалните етапи, разпространението на пропагулите има водеща роля при формирането на съобществото и диктува типовете организми, които са в състояние да колонизират. С напредване на сукцесионния процес нараства прогресивно ролята на биотичните фактори (конкуренция и мутуализъм), което води до постепенно увеличаване на функционалното и таксономично разнообразие (Chang and HilleRisLambers, 2016).

➤ *Значение на продължителността на колонизация за качествения състав на перифитона.*

Анализът на приноса на видовете за различие при фактора „период на колонизация в дни“ (SIMPER) показва, че съществува разлика между избраните периоди на колонизация: 4, 8, 22 и 63 дни за всички изследвани райони (> 50 %). Закономерно тя нараства от 4 към 63 дни. Качественият състав на диатомите е най-подобен за периода между 4 и 8 дни колонизация, независимо от района на експеримента (различие 56, 81 %). Като сравнително добри индикатори (дискриминиращи видове) за фактор „период на колонизация“, според резултатите от SIMPER – анализа, се очертават *S.*

*placentula*, *C. scutellum*, var. *scutellum*, *C. scutellum* var. *intermedia*. Изброените видове се характеризират с високо съотношение между приноса към различието между двойките периоди и стандартното му отклонение (Clarke and Warwick, 2006). Прилагането на подхода на оценка на връзката между видове и групи - indval (Dufrene and Legendre, 1997), показва наличие на общо 6 индикаторни вида (Табл. 6).

Таблица 6. Резултати от анализа за статистически значими индикаторни видове по метода indval (Dufrene and Legendre, 1997, multipattern analysis, package "Vegan", „R“), А - специфичност на индикатора, В – чувствителност на индикатора.

Индикаторни видове за продължителност на колонизация:	А	В	Статистика (√indval)	Стойност на р (ниво на значимост)
<i>Група: 63 дни</i>				
<i>T. parva</i>	0.8837	0.75	0.814	0.036 *
<i>Група: 22+63 дни</i>				
<i>Pseudonitzschia1</i>	0.9549	1	0.977	0.008 **
<i>H.cofeaeformis</i>	0.9188	1	0.959	0.010 *
<i>L.Ehrenbergii</i>	1	0.875	0.935	0.004 **
<i>A.Hauckiana</i>	0.9687	0.875	0.921	0.014 *
<i>G. olivaceum</i> var. <i>minutissima</i>	1	0.75	0.866	0.048 *
<i>S.grandis</i>	0.9813	0.75	0.858	0.038 *
Кодове за статистическа значимост: 0 **** 0.001 *** 0.01 ** 0.05 ' 0.1 ' ' 1				

Индикаторните видове, идентифицирани според подхода indval (Dufrene and Legendre, 1997), принадлежат предимно към групата на подвижните или високопрофилните диатомови. Съвсем очаквано те са определени като добри индикатори за напреднал етап на сукцесия на съобществото, съответстващ на 22 и 63 дни постоянство на субстрата (ниско ниво на смущение). С максимално ниво на специфичност, се очертават *L. Ehrenbergii* и *G. olivaceum* var. *minutissima*. Там, където се откриват, присъствието им показва напреднал стадий на сукцесия.

➤ *Оценка на значението на района на експеримента за качествения състав на перифитона*

Ординационният (принципен - компонентен) анализ по видове за всеки период на колонизация от 4 дни ясно диференцира районите, заедно с

типичните им видове. Форос – вътрешна част - *C. placentula*, Ропотамо – *N. longissima*, Форос-външна част и Маринка се групират заедно - *C. scutellum*. Тази тенденция на сходство/отличие на районите се поддържа и за период от 8 дни. Ропотамо е районът с най-голямо видово богатство, с доминирането на *R. musculus+T.tabulata+Navicula sp.1*. Районът се отличава от останалите с присъствието на *A. brevipers*, *A. Hauckiana*, *B. paxilifera*, *G. marina* и т.н. Във вътрешната част на Форос ярко доминира *C. placentula+Licmophora sp.*, присъстват *F. pugnata*, *Cocconeis sp. 1*, *H. hyalina*. Външната част на Форос и Маринка показват сходство в структурата на диатомовото съобщество – доминиране на *C. scutellum* и вариетета му. Напредването на колонизационния процес увеличава разнообразието и различието в структурата на диатомовите в отделните райони. За 22 дни и особено за 63 дни се обособяват районите на вътрешната и външната част на Форос и Ропотамо, с типичните им видове. Анализът (SIMPER, Clarke and Warwick, 2006) на приноса на видовете за различие при фактора „район“ показва, че съществува значително различие в качествения и количествения състав на диатомовите между избраните райони: минималното различие е между райони Форос външна част и Маринка (45,81 %), а максималното - между Форос външна част и Ропотамо (88,67 %).

Таблица 7. Резултати от анализа за статистически значими индикаторни видове по метода *indval* (Dufrene and Legendre, 1997): *multipattern analysis*, package “Vegan”, „R“, A - специфичност на индикатора, B – чувствителност на индикатора.

Индикаторни видове за район на обитаване	A	B	Статистика ( $\sqrt{\text{indval}}$ )	Стойност на p (ниво на значимост)
<i>Група "Форос вът"</i>				
<i>P. elongata</i>	1	0.75	0.866	0.026 *
<i>H. hyalina</i>	0.9117	0.75	0.827	0.031 *
<i>Група "Ропотамо"</i>				
<i>Nitzsch.longissima</i>	0.9967	1	0.998	0.002 **
<i>Група "Маринка+Ропотомо"</i>				
<i>N.pararoptica</i>	0.9754	1	0.988	0.036 *
Кодове за статистическа значимост: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

Статистически значими индикаторни видове за „район“, съгласно резултатите от *indval* – подхода (табл. 7), са предимно представители на

високопрофилната и подвижната гилди. Като много добър индикатор за вътрешната част на залива Форос е определен вид, който присъства в пробите с по-голяма продължителност на колонизация ( $> 4$  дни). Като добър индикатор за района на Ропотамо е идентифициран *N. longissima*, която е характерна за този участък, въпреки, че се среща в пробите и от други райони (отлична чувствителност и добра специфичност). *N. parapontica* е определена като добър индикатор за районите на Ропотамо и Маринка, където има високи числености, въпреки че може да бъде установена и в пробите от други райони. Двата подхода за оценка на индикаторни видове – SIMPER (Clarke and Warwick, 2006) и indval (Dufrene and Legendre, 1997) посочват не просто различни видове, а видове, имащи различна жизнена стратегия: нископрофилни и бавно подвижни, “disturbance”- и стрес-толерантни при първия тип тестове, и вископрофилни и подвижни, изискващи постоянство на субстрата и добра ресурсна обезпеченост (Passy, 2007) видове – при втория тип тестове. Двата подхода акцентират на различни страни от адаптационната стратегия на видовете. Подходът indval поставя акцент върху високата специализация на видовете и силното им „предпочитание“ към дадени условия. Тук добри индикатори са видове, които са с по-тясна екологична ниша. SIMPER „допуска“ и видове с широка екологична пластичност, като поставя акцент на обилието като показател за „предпочитанието“ на видовете.

#### **V.4.3. Зависимост на засенчването от количеството на акумулирания товар**

По същество зависимостта между акумулирания епифитен товар и засенчването (преминалата светлина) е от вида „доза-отговор“. В различни експерименти (преглед в Nelson, 2017) за описание на тази връзка са проверявани различни функционални зависимости като са търсени зависимости както между обилието и засенчването, така и между обилието и преминалата през перифитонния слой светлина. Формата на зависимостта в този експеримент подсказва, че изменението на засенчването би могло да се опише най-добре от криви на експоненциалното нарастване до максимум (засенчване), на Михаелис-Ментен (засенчване), натурален логаритъм (засенчване), отрицателна експоненциална (преминала светлина), които бяха проверени за оптимално описание на данните. Сравнителният анализ показва, че моделът на експоненциално нарастване на засенчването до максимум е най-подходящ за описание на резултатите. Изборът на този модел не е необичаен, тъй като преобладаващ брой автори са го предпочели при своите изследвания (преглед в Nelson, 2017). Въпреки, че вероятно качествения състав на перифитона оказва влияние върху статистическата зависимост, дори и без неговото отчитане, моделът може да се използва за

практически цели, тъй като получените коефициенти са в рамките на определените от други автори (умерен климат).

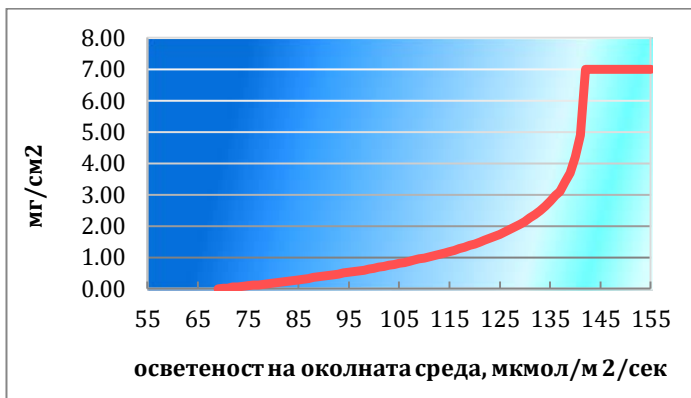
За да се определят „критични“ прагови стойности на засенчването, то трябва да бъде сравнено с минималната необходима осветеност (МИО) за съответния базифит (Ochieng, 2008). Изчисляването на достигналата светлина до листната петура става съгласно уравнението (Francovitch and Zieman, 2005).

За условията на Бургаския залив уравнението има вида:

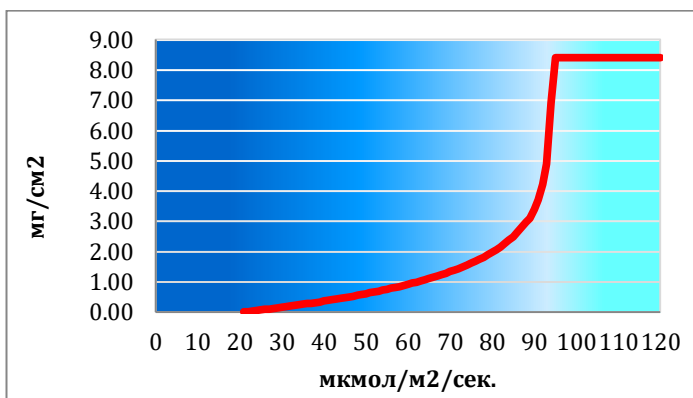
$$ДС = I_0 \cdot \exp(-K_d \cdot z) \cdot [100 - (A \cdot (1 - \exp(-b \cdot t)))]$$

където  $A = 73,22$ ;  $b = 0,8299$ , съгласно уравнение за експоненциално нарастване до максимум, ДС - достигнала светлина,  $K_d$  = коефициентът на отслабване при преминаване на светлината през воден стълб с дебелина равна на  $z$  м,  $I_0$  – интензитетът на светлината под водната повърхност (0 м), Кері-коефициентът на отслабване на интензитета на светлината преминала през епифитния слой с тегло  $t$ ,  $t$  = тегло на епифитния товар (мг/ см<sup>2</sup>).

Минималното изискване за осветеност (МИО) се определя като нивото на осветеност, необходимо на морската трева да поддържа своя метаболизъм, под което растенията не могат да поддържат своя растеж (Ochieng, 2008). Използвайки подхода на компенсационната осветеност ( $I_c$ ) (Ochieng C, 2008) и вземайки предвид средната стойност от различни автори за *Z. marina* (6 мол/м<sup>2</sup>/ден = 69 мкмол/м<sup>2</sup>/сек., Ochieng C., 2008)., могат да се изведат следните прагови стойности за максимално допустим епифитен товар, в зависимост от достигналата до епифитния слой светлина: от 0,01 мг/см<sup>2</sup> при осветеност равна на 70 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. до 7 мг/см<sup>2</sup>, при осветеност от 142 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. При нива на осветеност над 142 мкмол/м<sup>2</sup>/сек и под 69 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. епифитите нямат значение за засенчването: в първия случай се достига максималната засенченост, но тя е малка, за да предизвика „опасно“ за растенията намаляване на интензитета на достигналата светлина. При вторият – околната осветеност е лимитираща и епифитите практически нямат значение (фиг.10)



Фиг.10 Диапазон на влияние на епифитния товар върху критичните нива на достъпна светилна за *Z. tarina*. По оста x е нанесено нивото на околната осветеност, а по y – акумулирания епифитен товар (мг сухо тегло/м<sup>2</sup>).



Фиг. 11 Диапазон на влияние на епифитния товар върху критичните нива на достъпна светлина за *Z. noltei*. По оста x е нанесено нивото на околната осветеност, а по y – акумулирания епифитен товар (мг сухо тегло/м<sup>2</sup>).

Използвайки изведената стойност на  $I_c = 21 \text{ мкмол/м}^2/\text{сек.}$  (Peralta and Vergara, 2005) за *Z. noltei* се получават следните прагови стойности (фиг.11) 0,01 мг/см<sup>2</sup> (осветеност 22 мкмол/м<sup>2</sup>/сек) и 8,4 мг /см<sup>2</sup> при осветеност от 64 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. Както става ясно от фиг.10 и фиг. 11, един и същ епифитен товар има различно значение в зависимост от режима на осветеност. Най-голямо значение има този, който е близо до прага на МИО на вида - долната граница на разпространение или при повишена мътност. Определянето на



критичните прагови стойности за допустим епифитен товар е добре да се основава на МИО на базифита. Така може да се установят границите, които кореспондират с действителния светлинен стрес за растението.

6. *Значение на вълновата експозиция за особеностите на перифитона*

Идентифицирането на потенциални индикаторни видове за отделните райони, представителни за комбинация от натоварване и намаляване на неговия ефект, чрез водообмен с открити води, поставя необходимостта от проверка на важността на тези фактори за качеството на перифитона. Проверката на значението на факторите водосборна площ и интегрален пробег за формирането на качествения състав на диатомовите, чрез процедурата BEST (Primer E v.6, Clark and Warwick, 2006) показва слабо значение на двата фактора, ако методът бъде приложен към целия набор от данни. Тъй като бе доказана важността на продължителността на колонизацията за качествения състав на диатомовите, за да се открие ефекта на изследваните физико-географски фактори, процедурата беше повторена с матрицата, за която се предполага, че отразява климатното съобщество (Хайлов и кол., 1992) – 63 дни.

Таблица 8. Резултати от проверка за значимостта на „структуриращи“ съобществото, колонизирало субстрата за 63 дни, фактори (Clarke and Warwick, 2006)

BEST Biota and/or Environment matching	
Данни: Околна среда Избор на проби: всички Избор на променливи: всички	Параметри: Метод за корелация (рангове): Spearman Метод: BIOENV
Диатомови: Тип данни: Подобие Избор: 63 дни	Максимален брой променливи: 2 Подобие: анализ между: проби Мярка за подобие: Euclidean distance
Променливи: 1 пробег 2 водосбор	Резултати: No.Vars Corr. Selections 2 0,943 всички 1 0,657 1 1 0,088 2

Корелирането на матриците с диатомови и физико-географски фактори е най-високо, ако се отчетат и двата фактора ( $r = 0,943$ ) (табл. 8). Дори самостоятелно, факторът откритост към вълнение корелира много добре с данните за диатомовите ( $r = 0,657$ ). Морското вълнение може да повлияе

перифитонните организми пряко, като причини по-лесното им опадване от субстратната повърхност (напр. Vermaat, 2005). Интензивната хидродинамика, повлиява обрастателите и индиректно, чрез въздействие върху контрола отгоре-надолу, поддържайки ниско ниво на растителноядната преса (Schanz et al., 2002) или чрез контрола отдолу-нагоре, способствайки бързото разреждане, изнасяне и поддържане на ниски концентрации на биогените постъпили чрез товарите, (Raateoja and Kauppila, 2019), или доставяйки биогени чрез „обновяване“ на водата (Cattaneo, 1991). Балансът, между различните преки и индиректни въздействия на водообмена върху перифитона, зависи от локалните особености на средата. За да се оцени посоката на влияние на вълнението върху отделните диатомови видове е необходимо експериментът да бъде повторен с включването на по-голям брой райони и променливи - заустени водни количества, товари по биогени, С орг и БПК5, растителноядна преса, соленост, биогенни условия, състав на фитопланктона, като източник на планкто-бентосни видове, моделиране на транспорта и трансформацията на постъпилите товари.

## **VI. Обобщени резултати и изводи**

Бургаският залив предлага разнообразие от местообитания, където значението на вълновото въздействие и епифитните товари за лимитирането на разпространението на морските тревни се променя в зависимост от конкретните условия на обитаване:

1. В обхвата на Бургаския залив плитководните полета от морски тревни могат да бъдат лимитирани от ветровото вълнение, в зависимост от ориентацията и откритостта към вълнение на крайбрежния участък. Аналогично се променя и значението на ветровия режим и откритостта към вълнение за лимитирането на горната граница на тревните полета - в участъци открити на юг и югоизток тревните полета са по-рядко, но по-силно подложени на физическо смущение от вълновото действие, докато в участъци открити на север и североизток е обратното.

2. Горната граница на разпространение на морските тревни е лимитирана от ветровото вълнение в следните райони: Несебърски залив, Созополски залив и залив Форос. В залив Ченгене скеле, в участъка пред устието на р. Маринка, липсва лимитиращ (деструктивен) ефект на вълните върху горната граница на растителността през лятото.

3. Получени са емпирични модели, които могат да се използват за прогноза на присъствието на морски покритосеменни в непроучени райони от крайбрежието, предлагащи същите условия на вълнови климат, както и района, за който са изведени.

4. Получените резултати за скоростта на листния обмен и продуктивността на зостерите от нашия бряг са в съгласие с установените от други автори зависимости относно жизнената стратегия морските тревни и

сезона - *Z. noltei* е с по-бърз обмен, отколкото *Z. marina*; растенията имат бърз листен обмен и ниска трайност на листата през лятото.

5. Направената актуална оценка на качествения състав и структура на перифитона през лятото показва, че върху изкуствените субстрати за различен период от време са установени общо 63 бр. трайно прикрепени перифитонни организми. Най-многобройни и разнообразни са представителите на клас Bacillariophyceae - 50 вида.

6. Продължителността на съществуване на субстрата определя характера на перифитонното/епифитното съобщество. В хода на сукцесията, в райони с голяма водосборна област, защитени от вълновото действие постепенно нарастват: видовото и функционалното разнообразие на перифитона; стойностите на индексите на биоразнообразие (Shannon-Weaver, H) и изравненост (Pielou, J); значението на подвижната и високопрофилната гилди; намаляват толерантността на видовете към физически смущения (disturbance) и толерантността към ниските нива на биогените, а нараства „ефективността“ на усвояване на субстрата. За период на колонизация до 63 дни, нископрофилната гилда, запазва доминиращата си роля в състава на перифитона.

7. Обогащаването на диатомейната компонента с подвижни и високопрофилни видове е индикация за повишена трофност на средата, ако съобществото е имало достатъчно време за развитие. Повишената трофност на средата предизвиква количествени (по-бързо акумулиране на перифитон) и качествени („скъсява се“ времето за преминаване от един етап на сукцесията в друг) изменения.

8. В открити за вълновото действие райони, където липсва постоянен, повърхностен, пресноводен вток от сушата, съобществото е с беден качествен състав и с доминиране на нископрофилната гилда в състава на диатомовите.

9. Ординационният (принципен-компонентен) анализ показва наличие на ясно диференцирани райони (вътрешна част на залив Форос, външна част на залив Форос, Ропотамо) по отношение на структурата на диатомейната компонента от перифитона. Факторът „откритост към вълнение“, оценен чрез интегралния пробег, показва наличие на статистически значим „структуриращ“ ефект върху качествения състав на диатомовите водорасли. Откритостта към вълнение следва да се отчита при изследване на диатомовите съобщества.

10. Анализът на приноса на видовете към различието в състава на диатомовите по отношение на факторите „продължителност на колонизация“ и „район на изследване“, показва, че съществуват значителни разлики и при двата фактора. Различието е много по-силно изразено между отделните периоди на обрастване, отколкото между отделните райони. Това поставя необходимостта от задължително отчитане на постоянството на субстрата, при екологични оценки основани на разнообразието и количеството на перифитона (и епифитона). Потенциално добри индикатори за „продължителност на колонизация“ са: *C. placentula*, *C. scutellum* var. *scutellum*,

*C. scutellum* var. *intermedia*, които в общия случай, сумарно намаляват своя относителен дял с напредване на сукцесионния процес.

11. Анализът на подобие в качеството и количеството (относителна численост) на диатомейната флора в тестваните райони за период със средна продължителност на колонизация показва, че видовете *C. scutellum* и двата му вариетета, и *C. placentula* са добри перифитонни индикатори за влияние на пресноводен вток в крайбрежните води. Първите две форми увеличават своя относителен дял, при по-слабо влияние на пресноводен вток (малък вток и/или голяма откритост), а третата, обратно – силно доминира перифитона в условията на значителен вток на сладки води (голям вток, съчетан с малка откритост).

12. Получените резултати показват, че при използване на качествения състав (относителна численост) на епифитите като индикатор за условията на средата, е важно да се определи и средната продължителност на съществуване на техния субстрат. Същинският летен период (юни, юли, август) не е препоръчителен за мониторинг на диатомовите обрастатели върху листата на р. *Zostera*, поради високата скорост на листния обмен и съответно ниско видово разнообразие на епифитите. Краят на лятото (краят на м. август – края на м. септември) е най-подходящият период за оценка посредством качествения състав на диатомовите епифити намерени върху листата на зостерата.

13. Функцията на експоненциално нарастване до максимум е най-подходяща за оценка на засенчването причинено от акумулирани епифити. Изведената функционална зависимост (експоненциално нарастване до максимум) показва, че отслабването на светлината в географския обхват на експеримента, става по закономерност подобна на тази, установена за други райони на световния океан (умерен климатичен пояс). Определени са сходни коефициенти за Бургаския залив.

14. Изведени са следните прагови стойности за максимално допустим епифитен товар, в зависимост от достигналата до епифитния слой светлина: от 0,01 мг/см<sup>2</sup> при осветеност равна на 70 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. до 7 мг/см<sup>2</sup>, при осветеност от 142 мкмол/м<sup>2</sup>/сек за *Z. marina* и 0,01 мг/см<sup>2</sup> (осветеност 22 мкмол/м<sup>2</sup>/сек) и 8,4 мг /см<sup>2</sup> при осветеност от 64 мкмол/м<sup>2</sup>/сек. за *Z. noltei*.

*Представените обобщени изводи представляват оригинални научни резултати, получени от автора в рамките на настоящото проучване. Използването на чужди резултати, мнения и интерпретации по дискутираните въпроси е надлежно указано, чрез посочените цитирания, в съответните глави от дисертацията.*

## **VII. Приноси:**

Научни приноси:

1. Доказано е лимитирането на горната граница на разпространение на морските покритосеменни от ветрови вълни в районите: Несебърски залив,

Созополски залив, залив Форос и липсата на лимитиращ (деструктивен) ефект в район Ченгене скеле (устието на р. Маринка). За всеки изследван район са установени лимитиращите посоки на подход на ветровите вълни.

2. Получени са статистически модели на зависимост между горната граница на тревни полета и вълните, които могат да се прилагат за непроучени райони със същата или близка вълнова експозиция.

3. За първи път пред българския бряг на Черно море е установен видът *P. bicaudata*, паразитиращ по *Z. noltei*, което провокира необходимост от по-нататъшни изследвания на механизмите на въздействие на паразита върху неговия гостоприемник.

Научно-приложни приноси:

1. Установено е, че функцията за експоненциално нарастване до максимум е най-подходяща за оценка на засенчването причинено от акумулираните епифити. Определени са коефициентите на уравнението за условията на Бургаския залив.

2. Изведени са прагови стойности за максимално допустим епифитен товар, в зависимост от достигналата до епифитния слой светлина.

3. Приложените подходи и получените резултати позволяват за по-целенасочено да се планират и ресурсно да се обосноват дейностите по проучване на присъствието на съобщества от морски покритосеменни растения, в различни райони от българското черноморско крайбрежие с принос в оптимизиране на мониторинговите програми.

#### **VIII. Публикации по темата на дисертацията:**

1. Hineva E. V. and Prodanov B. (2014) Ecological status of macrophytobenthos community along Bulgarian Black Sea coast. Proceeding of the 12 th International Conference on marine science and technologies, Varna, 315-319

2. Hineva E. V. (2017) First record of a parasite Plasmodiophora bicaudata, J. Feldmann, 1941 on *Zostera noltei*, Hornemann along Bulgarian Black Sea coast. Proceedings of the Institute of fishing resources, vol. 28, 79-86

3. Hineva E. V. Importance of the wind waves for seagrass distribution along the north coast of Nessebar Bay (Black sea) - приета за печат

4. Hineva E. V. (2020) Wind regime and wave fetch as factors for seagrass habitat distribution: a case study from Bulgarian Black Sea coast, *Ecologia Balcanika*, 12 (1): 123-135

5. Hineva E. V. and Panayotov V. T. (2020) Wind waves and their importance for the ecology of a seagrass field. Fifteenth international conference on marine sciences and technologies, October 28th, 2020

6. Hineva E.V., Panayotov V. T., Stefanova E.S. and Stamatova H.G. A study on the light attenuation caused by periphyton in the Burgas Bay (the Black Sea) – изпратена