

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ОКЕАНОЛОГИЯ – ВАРНА

ГЕОРГИ ДИМИТРОВ ПЪРЛИЧЕВ

ГЕОЕКОЛОГИЧНА БРЕГОЗАЩИТА
НА БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРИЕ

АВТОРЕФЕРАТ

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПРИДОБИВАНЕ НА
ОБРАЗОВАТЕЛНАТА И НАУЧНА СТЕПЕН “ДОКТОР”

НАУЧНА СПЕЦИАЛНОСТ: “ОКЕАНОЛОГИЯ”, ШИФЪР 01.08.07

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
доц. дгн инж. Веселин Пейчев

НАУЧНО ЖУРИ:
проф. дбн Иван Доброволов
проф. дтн инж. Йордан Марински
доц. дгн инж. Веселин Пейчев
доц. д-р Стойко Стойков
доц. д-р Райна Христова

ВАРНА
2011

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширено заседание на секция “Морска геология и археология” при Института по океанология – БАН – Варна, проведено на г.

Дисертантът работи в секция “Морска геология и археология” на Института по океанология – БАН, гр. Варна. Изследванията, резултатите от които са послужили като основа за подготвянето на дисертационния труд са извършени в Института по океанология.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на от часа в зала на Института по океанология – БАН – Варна на заседание на секция “Морска геология и археология” при Института.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в Института по океанология, каб.

Автор: Георги Димитров Пърличев

Заглавие: Геоекологична брегозащита на Българското черноморие

Обща характеристика на дисертационния труд

Дисертацията е структурирана в 5 глави, въведение и заключение с общ обем 209 стр., включително 23 таблици и 87 фигури. Списъкът на литературата включва 155 научни публикации.

ВЪВЕДЕНИЕ.....	3
1. ПРИРОДНИ УСЛОВИЯ ЗА БРЕГОЗАЩИТА НА БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ.	5
2. БИОГЕННИ ФАКТОРИ ЗА БРЕГОЗАЩИТА.....	10
3. БРЕГОЗАЩИТАТА НА БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ.....	11
4. СЪЩЕСТВУВАЩИ МЕТОДИ ЗА БРЕГОЗАЩИТА.	12
5. ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕН МЕТОД ЗА БРЕГОЗАЩИТА.....	12
5.1. ФУНКЦИОНАЛНИ ЕЛЕМЕНТИ НА МЕТОДА.....	13
5.2. СТРУКТУРНИ ЕЛЕМЕНТИ НА МЕТОДА.....	15
5.3. ЕКОЛОГИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ НА МЕТОДА.....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	26
НАУЧНИ ПРИНОСИ.	28
НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА.....	28

По темата на дисертацията са публикувана 5 научни статии. Резултатите от работата са докладвани на 3 научни конференции.

ВЪВЕДЕНИЕ.

Актуалност на темата.

През последните 30 години по Българското черноморско крайбрежие бе осъществено безпрецедентно строителство на брегозащитни съоръжения, чиито недостатъци и негативни последици са вече пределно очевидни (Пърличев, 1985, 1996, 2002, Пърличев, Николчев, 1989, Николчев, 1989, Марински, 1989, 1998, 2006, Стойков, 1989, Дачев, Генов, 1992, Станчева, 2005, 2008 и др.). Междувременно в екологията все повече се налага новият геоикологичен подход във взаимоотношенията общество – природа (Тимашев, 2011 и др.). Оказва се, че разработваният у нас инженерно-биологичен метод за брегозащита (Пърличев, 1985, Пърличев, Стойков, Николчев, 1987, Пърличев, 1998, 2000 и др.) почти напълно съответства на този нов подход или по-точно казано, с изискванията си към брегозащитата представлява негово адекватно приложение в тази сфера. А съгласно геоикологичния подход човешкото общество вече е новият, съвършено особен и главен структурно-генетичен компонент на съвременния ландшафт на Земята, който с помощта на научната мисъл и труда, но и с новата антропоцентрична екология, с етичното и естетично си отношение към природата създава нова, несъществуваща досега окръжаваща среда, която трябва да осигурява неговото устойчиво развитие в хармония с нея.

Дисертацията разработва някои съществени страни на т.н. инженерно-биологичен метод (ИБМ) и съпътстващите го екологични хидротехнически

съоръжения (ЕХС – ВГ, рег. №1893/30.11.2010), с оглед внедряването им в практиката на брегозащитата и други морски дейности по Българското черноморие.

Обект на изследване са природните (геоложки и физикогеографски) условия на бреговата зона на Българското черноморие.

Предмет на изследване са възможностите, които природните условия на Българското черноморие разкриват за неговата геоекологична брегозащита, а също методите и средствата за нейното осъществяване.

Цел на изследването е да бъдат предложени подходящи за природните условия на Българското черноморие метод и хидротехнически съоръжения, които да осигуряват неговата геоекологична брегозащита.

Основни задачи на изследването са:

1. Да изясни геоложките и физикогеографските условия за брегозащита на Българското черноморие;
2. Да даде качествена оценка на ефективността на досега извършеното брегозащитно строителство;
3. Да систематизира известните методи за брегозащита с оглед на евентуалното им използване;
4. Да доразработи и детайлизира някои съществени страни на инженерно-биологичния метод за брегозащита (ИБМ) с оглед приложението му в практиката на брегозащитата на Българското Черноморско крайбрежие;
5. Да доразработи някои въпроси свързани с екологичните хидротехнически съоръжения (ЕХС) до степен, доказваща приложимостта им в практиката.

Методика на изследването. В процеса на изследването бяха използвани редица общонаучни и тясно специални, традиционни, нови и най-нови подходи и методи, в зависимост от необходимостта им за решаването на различните въпроси, които могат да бъдат лесно разпознати в различните части на изложението.

Към общонаучните подходи и методи се отнасят комплексният, (интердисциплинарен, географски) подход, системният подход, геоекологичният подход, мултипликационният подход, историческият метод, сравнителният метод, анализът и синтезът.

От частнонаучните методи са използвани теренните геоложки и геоморфоложки наблюдения, фотодокументацията, експериментът, използването на разнообразни картографски материали, таблици, графики и др., както и съставянето им, използвани са и някои математически методи от бреговата геоморфология и брегозащитното инженерство и по-специално:

- Емпирични методи за определяне на конфигурацията на брегозащитните съоръжения и морфологичните изменения на бреговата линия;
- Метод на енергийния поток;
- Метод на Goda (1974) за определяне на вълновото натоварване върху непроницаем вертикален вълнолом и ЕХС;
- Уравнение на Хъдзън и свързаните с него уравнение за оразмеряване на каменно-насипен вълнолом-риф;

- Метод за определяне на хидравличните характеристики на проницаем вълнолом с трапецовидно сечение и вертикален проницаем вълнолом (с правоъгълно сечение), предложен от Madsen, White (1976)
- Метод на хидравличния еквивалент (Madsen, White, 1976);

Използвани са софтуерните пакети Golden Software Surfer[®] и ACES (Automated Coastal Engineering System) (Leenknecht et al., 1992).

1. ПРИРОДНИ УСЛОВИЯ ЗА БРЕГОЗАЩИТА НА БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ.

Българското Черноморско крайбрежие е дълго 378 km, като клифовият бряг заема 59.7 % от цялата дължина, плажните ивици – 28 %, а свлачищно-абразионният бряг – 12.3 % (Попов, Мишев, 1974).

Геолого-геоморфоложките условия. Геолого-геоморфоложките условия на Българското черноморско крайбрежие определят преобладаваща източната експозиция на брега при среден наклон на подводния брегови склон 0.016. Източната експозиция определя неговата уязвимост от вълноопасните направаления – източно, североизточно и югоизточно.

По северното Добруджанско крайбрежие клифовите откоси са изградени от лъос, поради което са активно абрадиращи, като най-силно уязвими са носовите участъци, в които се концентрира и вълновата енергия. Носовите са изградени от горносарматски варовици в основата на клифа, съвпадащи с билата на плоски антиклинали с посока по паралела, синклиналите между които формират заливните акумулативни участъци. Брегот е абразионно-акумулативен, с конфигурация на три големи абразионни брегови дъги, пресичащи се в носовите. Скоростта на абразията се определя от ширината на плажните ивици. Тъй като те имат карбонатен състав над 80 % и са биогенни по произход, карбонатната продуктивност в значителна степен определя съотношението между абразионните и акумулативните процеси в този участък. Около носовите се развиват черупчести плажове, дължащи се на свойствата на мидените черупки като плажен нанос и на конвергенцията на вълновите лъчи пред носовите участъци. Тези условия позволяват с най-голям успех да се прилага дистанционната плажогенерираща защита, като се съсредоточава пред носовите. Резултатно би било и изкуственото подхранване на плажовете, за което обаче липсват близко разположени и достатъчни по обем източници на инертни материали.

На юг от н. Шабла до н. Калиакра, брегот е тектонски предестениран и е предимно клифово-срутищен и отчасти свлачищен, изграден от сравнително устойчиви на абразия средносарматски варовици. Поради това, с изключение на н. Калиакра, чийто източен клиф се нуждае от спешна защита, тук общо взето не се налагат брегозащитни мероприятия.

В района н. Калиакра – н. Галата брегот е също тектонски обусловен и е абразионно-свлачищен и акумулативен, моделиран в неогенски седименти. Плажовете са с териген произход в резултат от ерозионно подхранване от реките и деретата и от абразия на клифове. В тази част са разположени едни от най-големите плажни ивици – Батовско-Краневската при кк Албена, подхранвана от наносите на р. Батова, плажът на кк Златни пясъци, плаж “Журналист”, Централният и Аспаруховският плаж във Варненския залив. От спешни мерки за

защита се нуждаят участъците Каварна – Балчик, Почивка – Траката и н. Галата, при което малките наклони на подводния брегови склон пред тях биха я улеснил, а локалните натрупвания на блокове и валуни върху него биха затруднили монтажа и.

Районът н. Галата – н. Емине е формиран по дислокационна линия със субмеридионална ориентация. От север на юг по брега се редуват носови абразионни и абразионно-свлачищни със заливни акумулативни участъци, при което плажовете са от теригенен произход. Тук е най дългата плажна ивица по нашето крайбрежие – Камчийско-Шкорпиловската с дължина 11.2 km, подхранвана от наносите на р. Камчия. Подводният брегови склон навсякъде е с малки наклони, които улесняват брегозащитата, особено дистанционната, но и с твърде неравна и разнородна повърхнина, която би я затруднила. Същевременно една ивица от грубопясъчни и детритусни материали на дълбочина 10–20 m по дължината на района представлява лесно достъпен източник на инертен материал за изкуствено подхранване на плажовете.

Районът н. Емине – Созопол обхваща Бургаския залив. По северният му бряг между н. Емине и кк Слънчев бряг пластовете на т.н. Емински флиш забавят абразията поради падението им на юг. Крайбрежието на Бургаската низина е изградено от палеогенски и неогенски варовици, мергели и пясъци, при което един слой от здрави кварцови пясъчници в носовите части на полуостровите тук е причина за тяхното образуване. Аналогична е причината и за разчленената конфигурация на южната ограда на Бургаския залив, където литоложките различия между сенонските вулканити и туфити се усложняват и от напукаността на скалите от разнопосочни системи от пукнатини. В неогенските и кватернерни седименти около н. Лахна и с. Сарафово абразията е извънредно активна и причинява известните свлачища. Данните за подводния брегови склон са ограничени, но говорят за малки наклони на дъното, сходни с тези на описаните райони. Това разкрива широки възможности за осъществяване на дистанционна защита пред носовете, а банка Кокетрайс южно от н. Емине е достъпен източник на инертен материал за изкуствено подхранване на плажовете.

По южното крайбрежие (южно от Созопол) скалите са с вулканичен произход и са слабоабрадируеми, но разнопосочните системи от пукнатини обуславят силно усложнената и назъбена брегова линия. Между някои от носовете се образуват джобни плажове, чиято устойчивост се определя от значителната абразионна устойчивост на съседните носове. Те именно правят ненужна брегозащитата в този район. И тук някои от плажовете са с биогенен или смесен (биогенно-теригенен произход) и карбонатно съдържание от 40% до 60%.

Най-общо казано отвореността на на Българския черноморски бряг към вълнения от източната половина и малките наклони на подводния брегови склон са предпоставка за развитието на брегозащита чрез дистанционни вълноломи. Характерна особеност е значителната роля на биогенния фактор в балнаса на наносите на север от н. Калиакра и южно от Бургас.

Характеристика на наносите. Наносните характеристики дават информация за гранулометричния състав, движението на наносите при напречнобреговия и надлъжнобреговия наносен транспорт и възможностите за изкуствено подхранване. Въз основа на данни от доклада на Николов и др. (1985) е направен статистически анализ на наносите в участъка м. Траката – м. Почивка.

Статистическите характеристики показват, че пясъкът е предимно среднозърнест ($M_D = 0.36 \text{ mm}$, $M_\phi = 1.60$), умерено добре сортиран, а разпределението на наносите по зърноометричен състав е близко до нормалното.

Широкото разпространение на черупчести плажове по Българското Черноморие определят необходимостта от изследването на свойствата на мидените черупки като плажен нанос. Изследвани са мидени черупки от м. Почивка с дължина от 30 до 65 mm и са получени техните физични свойства (маса, плътност, специфично тегло и относителна плътност). Важна характеристика за определяне на наносния транспорт е хидравличният диаметър, който е определен както за наносите в участъка Траката – Почивка, така и за мидените черупки. Хидравличните свойства на мидените черупки показват, че те могат да се отнесат към гравийните наноси, което ги определя като подходящ за изкуствено подхранване на плажовете инертен материал.

Хидроклиматични условия. Вятърът е основен вълнообразуващ фактор. Експозицията на Българското Черноморско крайбрежие определя като вълноопасни направленията от източната половина, като силните ветрове (скорост над 14 m/s) са преобладаващите през зимното полугодие североизточни и северни ветрове.

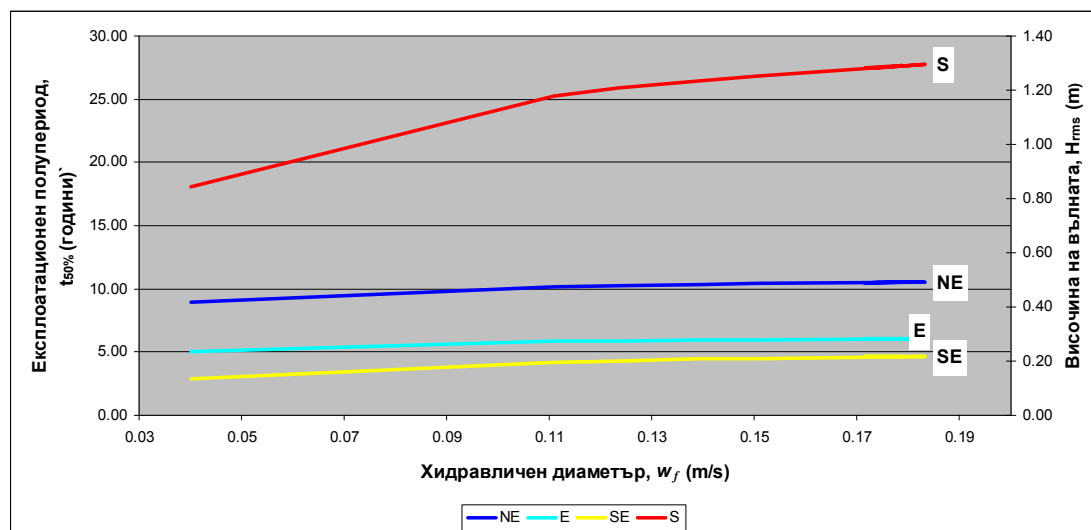
Данните за честотата на вятъра по скорост и посока са взети от “Климатичен справочник на България” т. 4 (1982). Средногодишните стойности на елементите на ветровото вълнение са определени по метод, базиран на спектралния модел JONSWAP (SPM, 1984), който позволява определянето на характеристиките на ветровото вълнение както в условията на ограничен ветрови разгон, така и при ограничена продължителност на действието на вятъра. Получените резултати потвърждават предположението за ограничен разгон, свързано с размерите на основните барични системи, под влияние на които се формира полето на вятъра над Черноморския басейн.

Литодинамични условия. Досега са предложени три схеми на надлъжнобрегови транспорт в бреговата зона на Българското Черноморско крайбрежие: на Шуйский, Попов (1977), въз основа на методиката на Шадрин (1966) за наносодвижещия ефект на надлъжнобреговите течения; на Дачев, Чернева (1979) въз основа на вълноенергитичния метод на Лонгинов (1966) и на Филиппов (1988) по оригинална методика.

Надлъжнобреговият транспорт на наноси за района на Варненския залив е определен на $320,000 \text{ m}^3$ годишно (Филиппов, 1988).

Надлъжнобреговият транспорт на наноси в даден участък определя периодичността на изкуствено подхранване на плажовете. Скоростта и обемния разход на надлъжнобреговия транспорт се определят от медианния/хидравличния диаметър на наносите. С оглед на възможността за естествено подхранване на плажовете с мидени черупки, данните от участък Траката – Почивка са сравнени с надлъжнобреговия транспорт и обемния разход при подхранване с наноси със хидравличен диаметър, близък до този на наносите в разглеждания участък (пясъчни с $M_d = 0.36 \text{ mm}$) и мидените черупки ($L = 30 - 60 \text{ mm}$). Установено е, че обемният разход при подхранване с мидени черупки намалява с увеличаване на хидравличния диаметър. С увеличаване на хидравличния диаметър, при различни посока и височина на средноквадратичната вълна (H_{rms}), експлоатационният полупериод (времето, за което половината от наносите остават в разглеждания участък) се увеличава, в

результат на което за мидени черупки това време е по-високо отколкото за пясъчни наноси (Фиг. 1).



Фиг. 1 Експлоатационен полупериод ($t_{50\%}$, години) на участък с дължина 1600 m (м. Траката – м. Почивка) в зависимост от хидравличния диаметър, посоката и височината на вълнатата (H_{rms} , m).

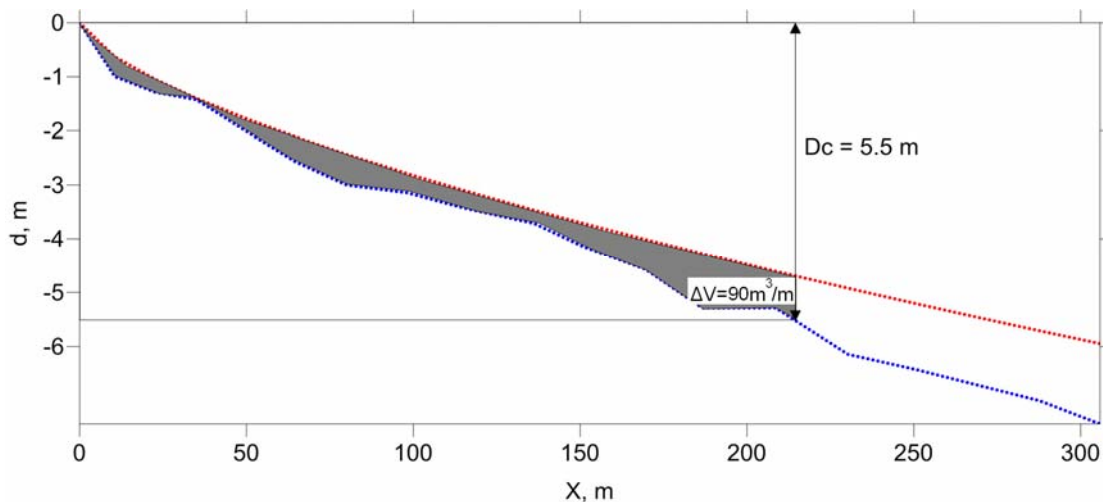
Определянето на напречнобреговия наносен транспорт позволява оценка на възможността за дънно подхранване на плажовете и дълбочината, до която е икономически целесъобразно извършването на изкуствено подхранване на даден участък. Напречнобреговият наносен транспорт се ограничава от долната граница на статистически значими изменения на нивото на дъното, наречена “дълбочина на затваряне” (depth of closure).

“Дълбочина на затваряне за даден характерен период от време се нарича най-близката до брега дълбочина, под която няма значителна промяна в нивото на дъното и значителен нетен седиментен транспорт между прибрежието и дълбоководието” (Kraus et al., 1989).

На практика от дълбочината на затваряне зависи обемът наноси, необходим за изкуствено подхранване на даден участък. Според руските норми е допустимо подхранване на плажовете до дълбочина 7–10 m (ВСН 183-74, 1975).

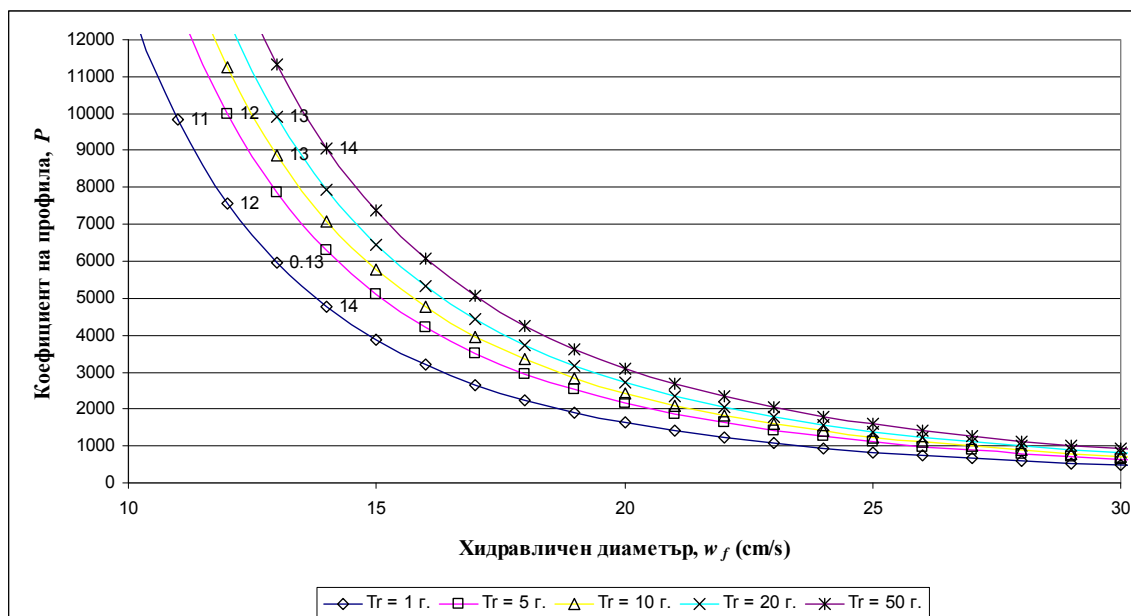
Определянето на дълбочината на затваряне се извършва по данните от многогодишните изследвания по профили или по аналитични зависимости, изведени от уравненията на линейната теория на вълната (Kraus et al., 1998). В настоящата работа средногодишната стойност на статистически значимата дълбочина за района на Траката – Почивка е определена аналитично по метода на Hallermeier (1981, 1985) на $D_c = 5.5$ m.

Стойността на наносния дефицит на единица дължина от бреговата линия е определена от застрихованата площ между осреднения профил на участъка Траката – Почивка и теоретичния профил, който би се получил при подхранване с наноси със същия медианен диаметър ($M_d = 0.36$ mm). Формата на теоретичния профил е изчислена по зависимостта $h = Ay^{3/2}$ (Dean, 1977). Стойността на наносния дефицит е определен на $\Delta V = 90$ m³/m (Фиг. 2).



Фиг. 2 Обем, необходим за компенсация на наносния дефицит в участък м. Траката – м. Почивка.

При напречнобреговия наносен транспорт се извършва механична диференциация на наносите, при което по-едрите частици се движат към брега, докато по-дребните – към морето (Зенкович, 1962). При това, неутралната линия на напречнобреговия наносен транспорт за по-едрите частици в посока към брега е изместена на по-голяма дълбочина. Зависимостите за определяне на посоката на наносите с различна скорост на утаяване (хидравличен диаметър) се основават на връзката между стръмнината на вълната и времето за утаяване на наносните частици $H_b/w_f T$. Въз основа на тези зависимости Dalrymple (1992) извежда уравнение за коефициента на профила (P), според която напречнобреговият наносен транспорт е насочен към брега, за стойности на $P \leq 10000$. Въз основа на този показател е определен хидравличния диаметър, при който наносните частици се движат към брега при ветрова вълна с различен период на обезпеченост. От тези данни се вижда, че дори при вълни с обезпеченост веднъж на 50 г наносни частици с хидравличен диаметър над 11–13 cm/s, към които се отнасят мидени черупки с дължина $L = 30\text{--}60$ mm, се движат предимно към брега.



Фиг. 3. . Зависимост на посоката на наносен транспорт, насочен към брега ($P < 10000$) от хидравлическия диаметър на наносите за разчетно вълнение с период на безопасност (Tr) от 1 г. до 50 г.

Тази зависимост се потвърждава от образуването на устойчиви черупчести плажове по Северното черноморие (на север от н. Шабла) и по южното черноморие (на юг от Бургас). Дори и среднозърнести пясъчни наноси ($d_n = 0.001$ m) разположени на изобати $dx \leq 10$ m, се транспортират към брега, ако наклона на подводния склон ≤ 0.1 (Методическите рекомендации..., 1984)

2. БИОГЕННИ ФАКТОРИ ЗА БРЕГОЗАЩИТА.

Биогенният фактор има значителна роля в баланса на наносите в бреговите зони на моретата и океаните в разнообразни природно-климатични условия (Артюхин, 1989). Това се определя от значителната продуктивност на карбонатните скелетни организми – корали в тропиците и миди по скалистите брегове на умерените ширини. Тези организми образуват колонии с висока плътност и биомаса, поради което често са определяни като доминантни видове, едификатори, рифостроители или екосистемни инженери.

Литоралните съобщества на умерените ширини са доминирани от представителите на сем. *Mytilidae* (Suchanek, 1986), които също образуват биогенни рифове (Holt, 1989).

Функцията на тези организми се изразява в три направления:

- висока биомаса и биопроductивност, които определят структурата на литоралните съобщества;
- значително количество черупчест детрит и неговото значение за дънните биоценози (GutiError! Bookmark not defined.érez, 2003), в баланса на наносите в бреговата зона и като материал за образуване на карбонатни пясъчни плажове (Леонтъев, 1975, Артюхин, 1989, Short, 2005);

- висока скорост на филтрация, определяща значения им за широкомащабното пречистване на крайбрежните води (Ostroumov, 2005).

Средната продуктивност на тези организми се определя на 50–1000 g CaCO₃/m², като при стридите достига до 90 kg CaCO₃/m²·год. (Gutiérrez et al., 2003). Мидите *Mytilus galloprovincialis* в Адриатическо море върху изкуствени рифове достигат средна биомаса 32.5 kg/m² при максимална 60 kg/m² (Bombace, 1994).

По Българското Черноморско крайбрежие доминиращ по биомаса и биопродуктивност е видът *Mytilus galloprovincialis*. Мидите имат значителна роля в образуването на пясъчните плажни ивици на редица плажове северно от н. Шабла и на юг от Бургас (Рождественски, 1967; Попов, Мишев, 1974).

Високата карбонатна продуктивност, определяща значителната роля на тези организми в балнаса на наносите в бреговата зона, дава основание за обособяването на брегови зони от биоогенен тип (Артюхин, 1989).

3. БРЕГОЗАЩИТАТА НА БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ.

Българският бряг е предимно абразионен, при което значителна част от него е представена от абразионни и абразионно-свлачищни участъци, т. е. абразионните процеси са причина за свлачищните процеси. Поради това противоабразионните мерки често служат и като противосвлачищни.

Основният фактор за абразията е съществуващият наносен дефицит. Абразионните процеси през последните десетилетия допълнително се ускоряват поради редица фактори: намаляване на притока на наноси от твърдия речен отток, нерегулираното изземване на плажни наноси (пясък и черупки) за стопански цели, изграждането на масивни хидротехнически съоръжения (буни и дамби).

Естествен начин за намаляването на наносния дефицит е компенсирането му чрез директно подхранване на пясъчните и плажни ивици. Въпреки че според съществуващите съвременни норми и тенденции подхранването е по-икономично (ВСН 183-74, 1985, СЕМ, 2008), отколкото изграждането на хидротехнически съоръжения, в условията на Българското Черноморско крайбрежие е дадено предимство на хидротехническото строителство. Изграждането на хидротехнически съоръжения в условията на наносен дефицит води единствено до преразпределение на съществуващите наноси, при което абразията се премества в незащитения подветрен участък. Освен това приетите технически решения (буни и дамби) не съответстват на съществуващите условия за брегозащита по Българския бряг. Буните функционират добре при надлъжнобрегови наносен транспорт и мощни наносни потоци, които да компенсират подветрената абразия, но това не се отнася за наносните потоци по нашия бряг. Дамбите, изградени според руските строителни норми (приети и в България) са предназначени за защита на нисколежащи територии от заливане (ВСН 183-74, 1985), но по българския бряг те са използвани като основен метод за брегозащита, изградени са върху съществуващите плажни ивици и подводния брегови склон, а плаж пред тях не е създаден, което намалява рекреационната и икономическа стойност на защитаваните участъци. Типичен пример в това отношение е дамбата “Балчик–Албена”. Буните блокират надлъжнобреговия

наносен транспорт, а дамбите – постъпване на наноси за сметка на твърдия отток и абразията, което допълнително задълбочава съществуващия наносен дефицит.

От анализа на условията за брегозащита по Българското Черноморско крайбрежие и на предимствата и недостатъците на съществуващите брегозащитни съоръжения следва, че по-подходящи инженерни решения са създаването на плажове чрез изкуствено подхранване и укрепването им чрез нископрофилни дистанционни вълноломи, които не блокират надлъжнобреговия наносен транспорт, намаляват интензивността на вълновото въздействие върху брега и по този начин удължават експлоатационния срок на изкуствените плажове.

4. СЪЩЕСТВУВАЩИ МЕТОДИ ЗА БРЕГОЗАЩИТА.

Традиционният подход към брегозащитата включва използването на вълногасящи брегозащитни стени, диги и облицовки, пясъкозадържащите буни и дистанционни вълноломи. При правилно проектиране те намаляват абразията и размиването на плажовете, но в условията на наносен дефицит те единствено преразпределят наносите на бреговата зона, при което абразията се измества в съседните незащитени участъци.

Поради това изкуственото подхранване (плажообразуване) като самостоятелен метод и в съчетание с брегозащитни съоръжения, се смята за най-икономично и екологично решение, тъй като е директен подход за отстраняване на основната причина за абразията – наносния дефицит, не променя естествената динамика на процесите в бреговата зона и отрицателните екологични ефекти на непроницаемите съоръжения. Недостатък на изкуственото подхранване е изчерпването на съществуващите източници.

Това показва, че повечето традиционни решения са относителни, което води до създаването на нови, нетрадиционни технологии. Въпреки че са нетрадиционни, повечето от тях се използват по традиционен начин, т. е. като брегозащитни вълноломи (СЕМ, 2008).

Анализът на различните типове брегозащитни съоръжения показва, че при създаването на нови алтернативи трябва да се спазват няколко основни принципа:

- принципа за минимално нарушение на естествените процеси в бреговата зона, формулиран за първи път от Сокольников (1976);
- принципа на постоянството на количеството на наносите в бреговата зона (Dean, Dalrymple, 2004);
- комплексният характер на абразионния процес изисква комплексен (геоекологичен) подход при търсенето на нови решения.

5. ИНЖЕНЕРНО-БИОЛОГИЧЕН МЕТОД ЗА БРЕГОЗАЩИТА.

Инженерно-биологичният метод за брегозащита е комплексен подход към защитата на бреговата зона, тъй като отчита влиянието не само на природните (хидродинамичните, литодинамичните, биогеохимичните и други фактори), но и на социално-икономическите и културно-историческите фактори в еволюцията на процесите в бреговата зона. Поради тази причина подходът е геоекологичен (ландшафтен). Практическата приложимост на метода се основава на използването на съвременните постижения на инженерната брегозащита:

- проницаеми, нископрофилни съоръжения с гасене на вълновата енергия вътре в елементите, а не между тях като фактор за намаляване на вълновото натоварване и увеличаване на хидравличната им ефективност;
- модулен подход с възможност използване на еднотипни модули от геометрично-неизменяеми елементи с различна конфигурация, проницаемост и функционално предназначение – (1) непроницаеми или полупроницаеми брегозащитни вълноломи с перфорирана челна стена и вълногасящи камери за намаляване на вълновото натоварване и отражение; (2) проницаеми брегозащитни стени; (3) откосни облицовки с повишена устойчивост и понижена преливаемост поради порестата структура на брониращите модули и гасене на вълновата енергия не само между елементите, но и във вътрешността им; (4) брегозащитни съоръжения с различна височина на профила, включително нископрофилните вълноломи-рифове с широк гребен, които са ефективни както при безприливни, така и при приливни условия и чести щормови нагони;
- геоекологичен подход, при който: (1) се създават рифови съобщества от рифообразуватели (екосистемни ниженери) с карбонатен скелет/черупка, обрастатели-сестонофаги, чиято биомаса е изнесена в горните слоеве, в оптимални условия и далеч от хищниците; (2) се образува черупчест детрит в количества, които в зависимост от биопродуктивността на обрастатели, са съизмерими с традиционните проекти за изкуствено подхранване на плажовете; (3) отделените поради естествената смъртност миди се разпределят върху подводния брегови склон, при което напречнобреговият им транспорт е предимно в направление към брега и по закономерностите за механична диференциация се натрупват в зоните с повишена хидродинамична активност (Невеский, 1967), в зоните с конвергенция на вълновите лъчи (концентрация на вълновата енергия) (Пърличев, 1989), откъдето под действието на надлъжнобреговата съставяща на разбиващите се вълни и породените от тях течения се транспортират към заливите, образувайки равновесни брегови дъги (Short, 2005); (4) рифовите съобщества върху ЕХС извършват широкомащабно пречистване на крайбрежната акватория (5) и се получава допълнителен екологичен ефект от фиксирането на CO_2 в карбонатния скелет на мидените черупки.

5.1. Функционални елементи на метода.

Функционалните елементи на метода включват избора на инженерно решение (вълнолом, изкуствен нос, буна) съобразно с условията за брегозащита и очакваните морфологични изменения (пясъчен, клин, томболо, прислонен плаж) на профила на подводния брегови склон и бреговата линия в резултат от оценката и избора на различните брегозащитни алтернативи. Изборът на функционално решение е направен на примера на участъка м. Траката – м. Почивка.

Абразионно-свлачищният характер на брега, малката ширина на плажа и особеностите на профила на подводния брегови склон правят този участък уязвим спрямо вълнение от североизточно, източно и югоизточно направление. Наличието на сгради, инфраструктура и пътният възел между гр. Варна и курортните комплекси по северната част на Българското Черноморско крайбрежие определят необходимостта от мерки за брегозащита с цел намаляване на абразията и свличането на земни маси.

Съществуващите понастоящем съоръжения (буна 109 в източната част, брегозащитна стена и серия от малки монолитни буни и буна 103 в западната част) без изкуствено подхранване с наноси не са ефективно решение за основната причина за абразията – наносния дефицит.

За отправна линия за брегозащита е избрана основата на клифа. Ширината на плажа е определена въз основа на максималния прибоен поток при вълна с 50 годишна обезпеченост, който за разглеждания участък е определен на $R_{max} = 12$ m. За допълнителна сигурност се предлага в този участък ширината на плажа да се увеличи до 30 – 35 m по цялата му дължина спрямо отправната линия. Зърнометричният състав на използвания материал трябва да е по-голям или равен на медианния диаметър на наносите в изследвания участък, който по данни от Николов и др., (1985) е $D_{50} = 0.36$ mm.

За намаляване на скоростта на размиване и увеличаване на експлоатационния срок в участъка може да се използват брегозащитни съоръжения за укрепване на бреговата линия. Като потенциални брегозащитни алтернативи са разгледани буни, вълноломи тип “изкуствени носове”, дистанционни вълноломи и дистанционни вълноломи и изкуствени рифове. Най-целесъобразно е използването на вълноломи-рифове, които са с нисък, динамично-стабилен профил на равновесие, гребен разположен около или под средното морско ниво, и изискват по-малки строителни разходи. Те пропускат по-ниските вълни, а филтрират по-високите чрез гасенето им върху относително широкия гребен на съоръжението. Така се запазва естествената циркулация и се предотвратява екстремалното вълново въздействие при щорм. Освен това повишената им проницаемост предотвратява образуването на томболо, което има ефекта на Т-буна и може да бъде причина за подветрен размив.

Определянето на конфигурацията (броя и разположението) на тези вълноломи е извършено по два метода:

- Емпирични зависимости, които се основават на съотношението между дължината на структурата и разстоянието до брега (L_s/X) и очакваното морфологично изменение на бреговата линия (Chasten et al., 1993, Pilarkzyk, 2003);
- Метод на вълновата дифракция – методът на вълновата дифракция, приложим за надводни вълноломи, е използван за сравняване с резултатите, получени по емпиричните зависимости.

Приложението на емпиричните зависимости дава матрица от стойности и графика, чрез която може да се направи предварителна оценка за оптималната конфигурация на брегозащитните съоръжения, когато дълбочината на залагане на съоръжението е определена аналитично по зависимост, предложена от Hallermeier (1983), дава следните резултати:

Дължина на участъка	Y	1600	m
Дължина на вълнолома	L_s	230	m
Дължина на протока	L_g	144	m
Разстояние до брега	X	180	m
Брой вълноломи	N_s	4	-
Брой протоци	N_g	3	-
Дължина на пясъчния клин	X_s	180	m
Площ на акумулация	A	29435	m ²

Наред с използването на плажозадържащи съоръжения е планирано изкуствено подхранване. Определени са обемите (m^3/m), необходими за плажообразуване при подхранване с наноси с медианен диаметър равен и по-голям от този на наносите в участъка, както и експлоатационните характеристики на плаж, създаден чрез естествено подхранване с черупчест детрит, образуван в резултат от естествената елиминация на мидите, обрастващи ЕХС. Изчисленията са направени по метода, описан в СЕМ (2008). Резултатите показват, че при подхранване с мидени черупки, необходимото количество инертен материал е от 2 до 3 пъти по-малко от използването на наноси с медианен диаметър, близък до този на наносите, характерни за разглеждания участък и има стойност $V = 65 m^3/m$.

Алтернативен подход на изкуственото подхранване е възможността за използването на мидените черупки за изкуствено подхранване. Тяхната съвместимост с традиционните пясъчни наноси е резултат от по-високата скорост на потъване, определяща по-голяма устойчивост на черупчестите плажове в сравнение с пясъчните и по-дълъг експлоатационен период между две последователни подхранвания. Източник на мидени черупки са разгледаните в тази работа вълноломи-рифове, наречени екологични хидротехнически съоръжения (ЕХС), чиято обрастаема площ и проникваемост позволяват при подходящи екологични условия развитие на съобщества на миди (главно от *Mytilus galloprovincialis*) с висока карбонатна продуктивност (образуване на черупчест детрит и еквивалентен обем карбонатен пясък). Тъй като количеството образуван черупчест детрит за 1 година е от мащабите на един традиционен проект за изкуствено подхранване, а хидравличните свойства на мидените черупки определят преобладаващото направление на напречнобреговия наносен транспорт към брега, прилагането на това решение би осигурило естествено подхранване на плажа от подводния брегови склон в рамките на експлоатационния период на ЕХС.

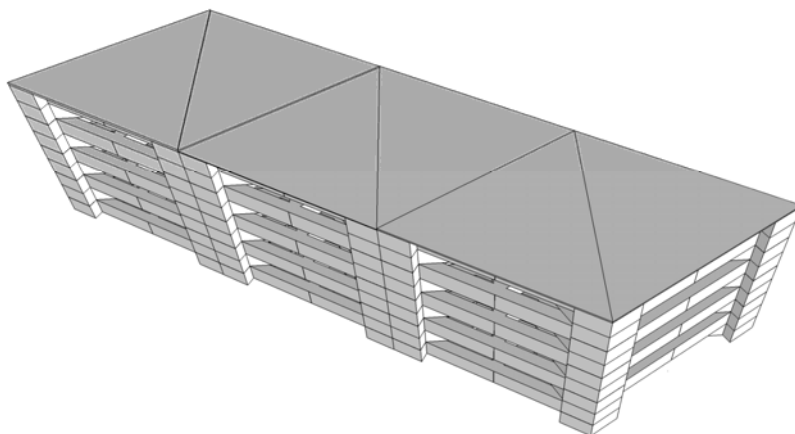
Изграждането на ЕХС в участъка м. Траката – м. Почивка може да има няколко благоприятни последствия:

- Запазване на естествената циркулация на водата;
- Запазване на надлъжнобреговия наносен транспорт и увеличаване на ширината на плажовете за сметка на напречнобрегови транспорт на мидени черупки от дълбоководието;
- Широкомасабно пречистване крайбрежната акватория поради високата скорост на филтрация на морската вода от съобществото на мидите и другите обрастатели-сестонофаги;
- Запазване и развитие на бентосни съобщества на обрастатели-сестонофаги, които са източник на черупчест детрит и естествени филтратори, които повишават самопречиствателните способности на крайбрежните акватории и ефекта от антропогенната еутрофикация;
- Естествено подхранване на активния профил на плажа и подводния брегови склон с черупчест детрит, отделен при отмирането на мидите, обрастващи ЕХС;
- Увеличаване на честотата на повторно подхранване на 1 година, в съответствие с периода на отмиране на част от индивидите от популацията, което не изисква допълнителни разходи. За сравнение, периодичността на подхранване на традиционните проекти е веднъж на 3–4 години.

- Практически неограничен източник на черупчест детрит в инженерен времеви мащаб;

Допълнителен екологичен ефект е извличането на разтворения в морската вода атмосферен CO_2 от фитопланктона и фиксирането му в карбонатните черупки на обрастателите-сестонофаги. По този начин един от източниците на черупчест детрит на практика е разтвореният в морската вода атмосферен CO_2 .

5.2. Структурни елементи на метода.



Фиг. 4 Част от екологично хидротехническо съоръжение (ЕХС)

Структурните елементи на метода включват определянето на разчетните вълнови характеристики и водни нива, по които се определят размерите и стабилността на съоръженият на вълново въздействие.

От структурните особености на съоръженията зависят техните хидравлични характеристики – вълново отражение, преливаемост над съоръжението, преминаване на вълната през съоръжението, дисипация на вълновата енергия, които се изразяват чрез уравнението:

$$E_i = E_d + E_t + E_r$$

където E_i , E_d , E_t и E_r са съответно постъпващата, разсеяната, преминалата и отразената вълнова енергия.

ЕХС са проницаеми хидротехнически съоръжения с правоъгълно напречно сечение. Основна структурна единица на тези съоръжения са еднотипни геометрично-неизменяеми модулни елементи, които се различават по степента на проницаемост. Модулните елементи се свързват (замонолитват) чрез пилоти, при което се образува пакет от модулни елементи – модулна конструкция. Свързването на отделните конструкции дава възможност за изграждане на различни конфигурации хидротехнически съоръжения. Хидравличните свойства на съоръженията зависят от комбинирането на модулните елементи в тяхната структура, което дава възможност за изграждане на съоръжения с различна проницаемост, както и на напълно непроницаеми съоръжения. В настоящата работа са разгледани съоръжения, състоящи се от два типа модули, при което общата проницаемост на съоръжението е $n = 0.65$.

Вертикалната структура на ЕХС, която не е характерна за традиционните брегозащитни съоръжения, позволява изнасяне на основната вълногасяща повърхност в горната част на съоръжението. Това съчетаване на вълногасящия

ефект на японските вълноломи-рифове с широк гребен при намаляване на материалните разходи чрез използването на вертикална, вместо характерната за каменно-насипните вълноломи трапецовидна структура. От тази гледна точка е търсено инженерно решение и метод за определяне на размерите на вертикален вълнолом със същите хидравлични характеристики и вълногасящ ефект какъвто има брегозащитен каменно-насипен вълнолом с трапецовидно сечение.

Проницаемата структура на съоръженията увеличава тяхната вълногасяща способност и намалява натоварването върху съоръженията. За разлика от традиционните вълноломи с вълнова камера ЕХС са проницаеми както в хоризонтално така и във вертикално направление. Тази повишена проницаемост не е за сметка на тяхната вълногасяща способност. Тъй като вътрешната структура на съоръжението представлява система от хоризонтални и вертикални прегради, разделящи съоръженията на вълногасящи камери, това предполага намаляване на вълновата проницаемост поради разнонасочване и удължаване във времето на действието на водните потоци във вътрешността на съоръжението.

Определяне на коефициентите на отражение и преминаване на вълната през ЕХС. ЕХС са вълноломи-рифове от проницаеми елементи с правоъгълно сечение (проницаем кесон), което определя техните хидравлични свойства. Повишената проницаемост (65 %) би следвало да намали отражението от вълнолома, а наличието на вътрешни полупроницаеми прегради – до повишаване на турбулентното разсейване на вълновата енергия във вътрешността на вълнолома. Хидравличните свойства на ЕХС са определени по метод, предложен от Madsen, White (1976). Решението се основава на разделяне на постъпващата вълнова енергия на отразена, преминала и разсеяна. Вълновото отражение и преминаването на вълните през пореста структура с правоъгълно напречно сечение е определено при приемането на следните основни предположения:

- 1) Относително дълги вълни с нормален подход към вълнолома;
- 2) Порестата структура е хомогенна и с правоъгълно напречно сечение;
- 3) Хидравличното съпротивление в порестата структура е право пропорционално на скоростта на потока, т. е. в сила е законът на Дарси.

Въпреки че потокът е от Дарси тип (ламинарен), съпротивлението на порестата структура е изразено чрез емпирична зависимост типа Dupuit-Forcsheimer (ламинарно-турбулентно), което се съгласува сравнително добре с експерименталните резултати. Коефициентът на триене е определен по уравнението:

$$f \frac{\omega}{n} = \alpha + \beta |U|$$

където, f – безразмерен коефициент на триене; ω – ъглова скорост; n – пористост; α – коефициент на ламинарно съпротивление; β – коефициент на турбулентно съпротивление; U – ефективна скорост.

С тези предположения са изведени аналитични зависимости за вълновото преминаване през и отражение от проницаем вълнолом с правоъгълно сечение, които дават отлично съответствие с експерименталните резултати за коефициента на преминаване и не много добро съответствие за коефициента на отражение.

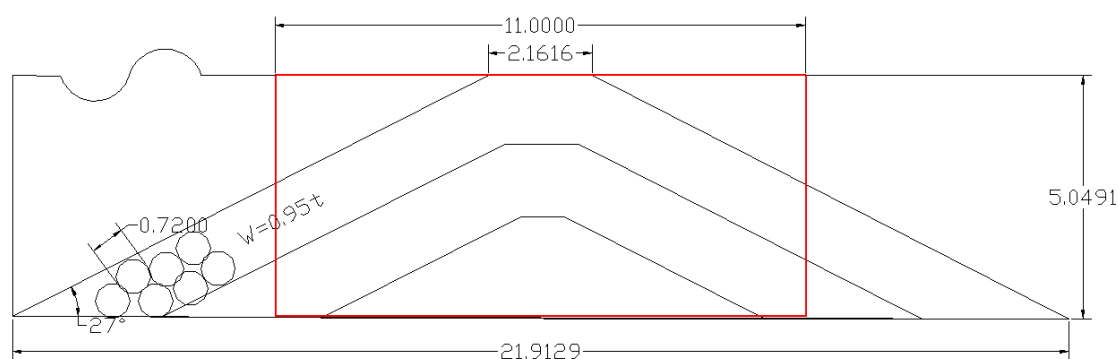
С приемането на тези предположения, коефициентите на отражение и преминаване са определени от характеристиките на постъпващата вълна,

геометрията на вълнолома (ширина и дълбочина) и свойствата на порестата структура (порестост и диаметър на блоковете).

Определяне на хидравличния еквивалент. Предлаганите в настоящата работа проницаеми вълноломи-рифове (ЕХС) имат правоъгълно сечение. В брегозащитата се използват каменно-насипни вълноломи, поради намалено отражение и значително разсейване на вълновата енергия, но с увеличаване на дълбочината вълногасящата повърхност намалява, а материалните разходи се увеличават. Предимство на предлаганите ЕХС са намалените материални разходи за изграждане при запазване на същите хидравлични свойства, както проницаемите вълноломи. За оценка на това предположение, ширината им е определена по метода на хидравличния еквивалент.

Методът на хидравличния еквивалент (Madsen, White, 1976) позволява определянето на ширината на проницаем вълнолом, който има същите хидравлични свойства, както каменно-насипен вълнолом със същата проницаемост. Подходът включва определянето на енергията, разсеяна в резултат от дънно триене върху челния откос на проницаемия каменно-насипен вълнолом, ако той се разглежда като непроницаем. След изваждане разсеяната върху външния слой енергия, разделянето на останалата енергия на отразена, преминала и разсеяна във вътрешността на вълнолома дава възможност за определянето на ширината на вълнолом с правоъгълно напречно сечение, който е хидравлично еквивалентен на проницаем каменно-насипен вълнолом.

Методът е приложен за определяне на хидравличния еквивалент на потопен каменно-насипен вълнолом с динамично-стабилен профил (изкуствен риф) и проницаемост като тази на ЕХС ($n = 0.65$). За рачетни са приети геоморфоложките и хидродинамични условия на участък м. Траката – м. Почивка. Повишената проницаемост е приета при положението, че вместо ломен камък, за изпълнението на вълнолома са използвани проницаеми кубове (СОВ, SHED). Направените изчисления показват, че каменно-насипен вълнолом с ширина на основата 22 m е хидравлично-еквивалентен на ЕХС с ширина около 11 m. Съотношението между количеството използван материал на линеен метър и при двата вълнолома е еднакво и при дълбочина 5 m има стойност от $60 \text{ m}^3/\text{m}$ (Фиг. 5).



Фиг. 5 Съотношение между обемите на количеството материал на единица дължина от каменно-насипен вълнолом (трапецовиден) и хидравлично-еквивалентните правоъгълни ЕХС (линейните размери са в метри).

Следователно, изчисленията направени по метода на хидравличния еквивалент показват, че прилагането на ЕХС с правоъгълно изисква същото количество материали за запазване на вълногасящите свойства, както каменно-насипния вълнолом-риф.

Вълново натоварване и стабилност на ЕХС. Основните типове повреди на вертикалните непроницаеми вълноломи (тип кесон) са свързани с тяхното хлъзгане и преобръщане при вълново натоварване. Поради това оразмеряването им се извършва с отчитане на действието на вълновите сили върху съоръженията. Съществуващите понастоящем методи изхождат от предположението за ударно натоварване. Предимство е опростяването на инженерните разчети чрез създаването на систематизиран метод за оразмеряване. Недостатъкът на този подход е, че представя вълновото натоварване като моментно въздействие, докато в действителност това е удължен във времето процес.

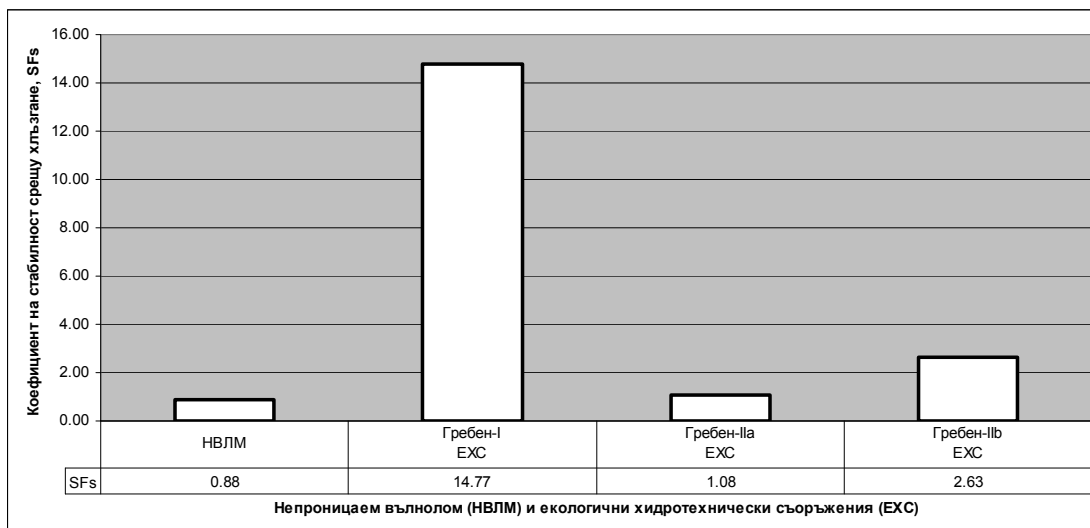
Понастоящем се използват няколко метода за определяне на вълновото натоварване върху вертикални вълноломи – 1) метод на Goda (1974) – съвремен японски стандарт, заменил използвания преди това метод на Sainflou (1928); 2) метод на Плакида, 1970 (съвременен руски стандарт, приет и в България); 3) метод на Миникин, 1963 (съвременен американски стандарт); метод на Miche-Rundgren (1944, 1958) – модифициран от Sainflou (препоръчван от SPM, 1984). Натоварването на проницаеми хидротехнически съоръжения се разглежда в методите на Goda и Плакида.

Предлаганите в настоящата работа ЕХС предполагат намалено вълново натоварване и повишена стабилност поради удължаване на времето на действие на вълновите сили върху съоръженията. Вълногасенето се извършва не само между модулните конструкции, но и във вътрешността им, което е допълнителен фактор за повишаване на стабилността.

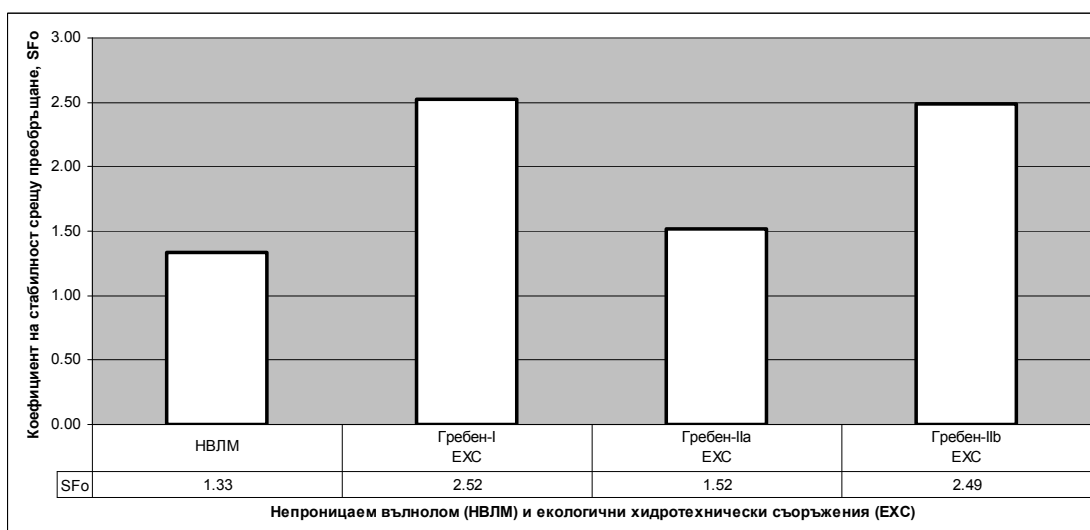
Изследването на натоварването на ЕХС е извършено по метода на Goda (1974), тъй като той дава възможност за определяне на вълновите натоварвания при всеки режим на вълново въздействие и за различни фази на вълновото въздействие. Това е извършено чрез сравняване на ЕХС с традиционен вълнолом тип кесон при едни и същи стойности на разчетната вълна. При проницаемите ЕХС са разгледани три върхови (пикови) фази на въздействие върху предната и задната стена, обозначени съответно като Гребен-I (фаза на ударно натоварване върху челната стена), Гребен-IIa (фаза на ударно натоварване върху задната стена) и Гребен-IIb (двуфазно ударно натоварване върху задната стена).

На фиг. 5 са показани коефициентите на стабилност срещу плъзгане и преобръщане за непроницаем кесон и проницаеми ЕХС. Вижда се, че макар и масата на проницаемия вълнолом (ЕХС) да е само около 1/3 от масата на непроницаемия, стойностите на коефициентите за стабилност при хлъзгане и преобръщане за ЕХС са близки и дори по-високи от тези за непроницаемия.

В същото време натиска на ЕХС върху основата е значително по-малък от този на непроницаемия вълнолом (Фиг. 8).

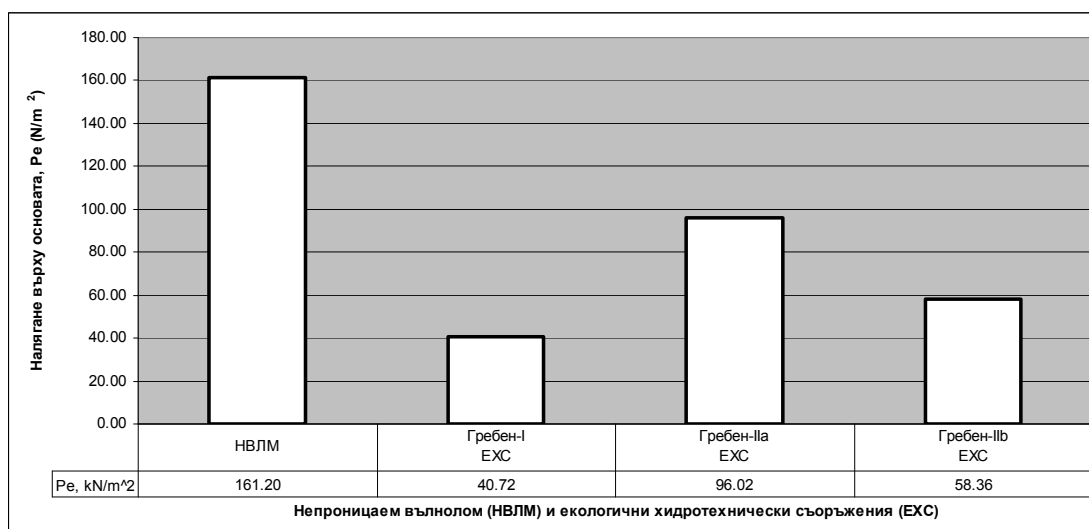


Фиг. 6 Коефициент на стабилност срещу хлъзгане на непроницаем вълнолом тип кесон и екологични хидротехнически съоръжения.



Фиг. 7 Стойности на коефициентите за стабилност при хлъзгане (SFs) и преобръщане (SFo), получени за непроницаем вълнолом тип кесон (НВЛМ) и екологичните хидротехнически съоръжения (ЕХС) за неразрушаващи се, разрушаващи се и преливащи вълни.

Допълнителен запас на устойчивост може да се постигне чрез намаляване на височината и/или увеличаване на ширината, замяна на пронцаемите модули в основата на вълнолома с полупроницаеми (по-тежки) модули. Значително повишване на устойчивостта на ЕХС срещу хлъзгане и преобръщане чрез използване на пилоти.



Фиг. 8 Натоварване върху основата на непроницаем вълнолом и ЕХС.

5.3. Екологични елементи на метода.

Екологичният ефект от използването на ЕХС е определен на примера на участъка Траката – Почивка при определени разчетни стойности за общата и карбонатната продуктивност.

Определяне на биомасата. Точното определяне на биомасата на мидите е невъзможно поради многогодишната изменчивост под влияние на екологичните фактори. Поради това са приети серия от потенциални стойности на биопроодуктивността (биомасата, образувана за определен период от време, в случая 1 година след началното обрастване) в границите на стойностите за Черно море, известни от научната литература. За условията на Варненския залив са установени стойности от 2 – 15 kg/m² (Маринов, 1990), като за Черно море те често достигат маса от 20 kg/m², а понякога и до 50 kg/m² (Зайцев, Мамаев, 1998). Приетите разчетни стойности на биомасата са 0.5, 1, 2, 5, 10 и 20 kg/m².год.

Определяне на скоростта на филтрация. Скоростта на филтрация на отделните екземпляри и на 1 m² е приета по литературни данни и по съществуващите алометрични зависимости (Александров, 2008). При среден размер на мидите 50 mm около 12 месеца след началното прикрепване, скоростта варира от 1.2–2.5 l/час (Brooks, 2000). Аналогични стойности се получават и при изчисляване по съществуващите емпирични зависимости. За настоящата работа е приета стойност от 2.4 l/час или около 50 l/денонощие, ако се приеме положението за 20 часа непрекъсната филтрация (Александров, 2008). Изборът на по-високата стойност се определя от поддържащия капацитет на средата – колкото по-висок е тази скорост, толкова по-бързо се изчерпват наличните ресурси (хранителен сестон), което е основа за модела за поддържащия капацитет при изкуственото култивиране на миди в условията на отворен бряг (Sara, Mazolla, 2004).

Определяне на карбонатната продуктивност. Карбонатната продуктивност е определена като маса на CaCO₃ (kg CaCO₃/m².год) и като еквивалентен обем карбонатен пясък (m³/m² площ) с порестост $n = 0.4$. въз основа на приетите стойности на потенциална биопроодуктивност на мидите и съотношение тъкан:черупка. Масата на черупката в периода 8–10 месеца след първоначалното прикрепване за миди с дължина $L = 40–50$ mm е определена при

предположението за съотношение тъкан:черупка, или $WW/SW = 50/50$ (по литературни данни) и уравнения, съставени по предположението за алометричен растеж. От собствени изследвания в участъка м. Траката – м. Почивка през м. август 2011 (7–8 месеца след първоначалното прикрепване) на 66 екземпляра миди със средна дължина $L = 45$ mm е установено $WW/SW = 25/75$ и маса на черупката $SW = 4$ g. От съвпадението на стойностите на черупките (независимо от разликата в съотношението тъкан:черупка) и относителното постоянство в масата на черупката, за Варненския залив може да се определи съотношение $WW:SW = 50/50$ и $SW = 4 - 6$ g за период от 8 до 10 месеца след първоначалното прикрепване.

От литературните данни за скоростта на растеж на мидите и изведените от тях алометрични зависимости, за период около 12 месеца след първоначалното прикрепване за миди със средна дължина $L = 50$ mm и маса WW (тъкан + черупка) = 20 g/инд., за общата и карбонатна продуктивност (биомасата, образувана около 12 месеца след първоначалното прикрепване), определена в съответствие с предварително приетите разчетни (потенциални) стойности за биопроductивност ($0.5-20$ kg/m²), получаваме:

Биопроductивност	на	kg/m ² .год	0.5	1	2	5	10	20
мидите								
Брой миди	N		25	50	100	250	500	1000
маса на 1 мида	g		20	20	20	20	20	20
маса CaCO ₃	kg/m ² .год		0.3	0.7	1.3	3.3	6.7	13.3
Обем CaCO ₃	m ³ /m ² .год		0.12	0.25	0.49	1.23	2.47	4.94
Еквивалентен обем пясък	m ³ /m ² .год		0.21	0.41	0.82	2.06	4.12	8.23

Получените данни са използвани като изходни при определянето на екологичния ефект на ЕХС с дължина на страната на съставящите ги модули от 5 m до 10 m в интервал от 1 m при обрастаема площ на единица дължина от модулните конструкции от 73 m²/m до 90 m²/m.

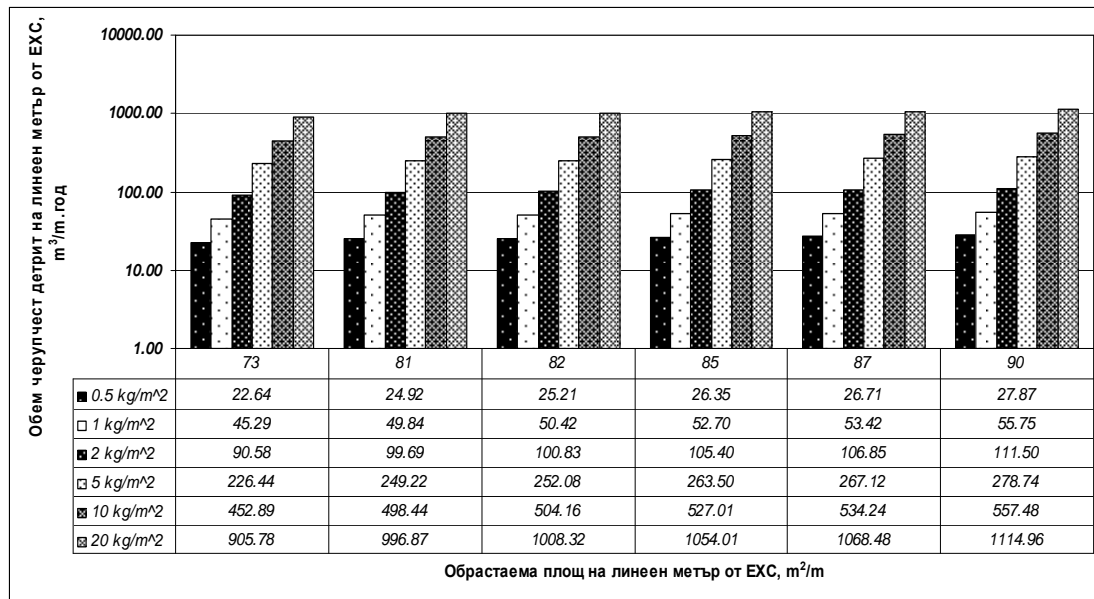
Карбонатна продуктивност. Карбонатната продуктивност е определена като количество инертен карбонатен материал, образуван на единица дължина от ЕХС за една година (kg CaCO₃/m.год). При определянето са приети разчетни стойности за биопроductивността от 0.5 kg/m².год до 20 kg/m².год и предположението, че масата на черупката е около половината от общата маса на мидата.

Въз основа на получените стойности чист карбонат, стойностите за еквивалентното количество черупчест детрит и карбонатен пясък са определени по уравнението:

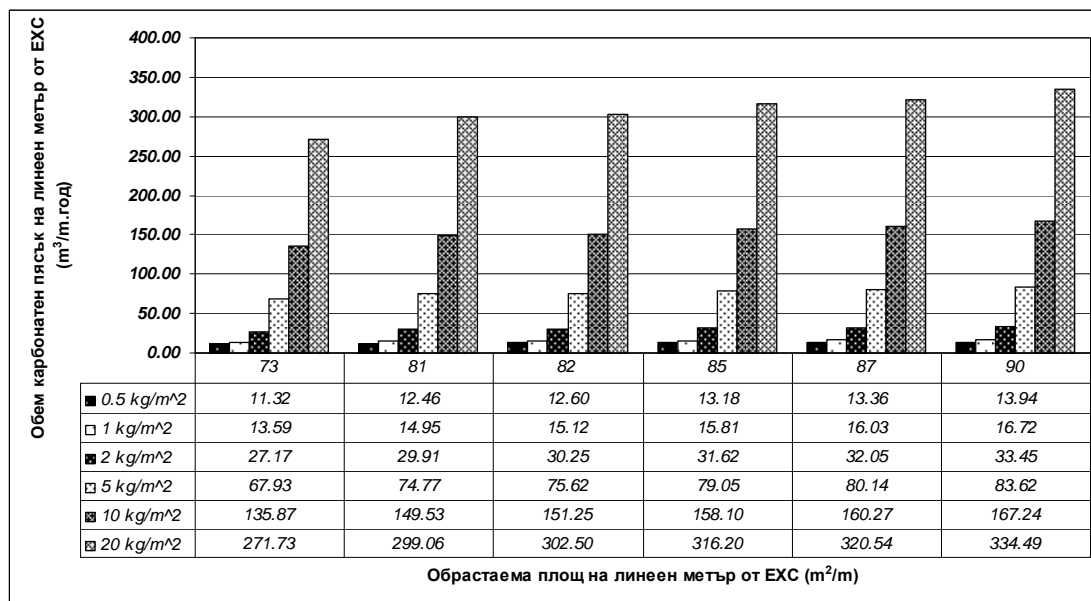
$$V = \frac{V_s}{(1-n)}$$

където: V – обем на черупчестия детрит или карбонатния пясък; V_s – маса на чистия CaCO₃; n – пористост, който за пясъка е приета за 0.4, а за черупчестия детрит – 0.7.

На Фиг. 9 са показани стойностите на еквивалентния обем черупчест детрит на единица дължина от ЕХС, изчислени за разчетните стойности на биопроductивността, а на Фиг. 10 – еквивалентното количество карбонатен пясък.



Фиг. 9 Еквивалентен обем черупчест детрит ($m^3 CaCO_3/m\cdot год$) с пористост $n = 0.7$, образуван на единица дължина от ЕХС за една година при стойности на средната биопроductивност на мидите от $0.5 kg/m^2\cdot год$ до $20 kg/m^2\cdot год$ и обрастаема площ от $73 m^2$ до $90 m^2$ на един линеен метър за вълноломи с дължина на страна от 5 m до 10 m.



Фиг. 10 Еквивалентен обем карбонатен пясък ($m^3 CaCO_3/m\cdot год.$) с пористост $n = 0.4$, образуван на единица дължина от ЕХС за една година при стойности на средната биопроductивност на мидите от $0.5 kg/m^2\cdot год$ до $20 kg/m^2\cdot год$ и обрастаема площ от $73 m^2$ до $90 m^2$ на един линеен метър от вълноломи за дължина на страна от 5 m до 10 m.

Получените данни показват, че количеството инертен карбонатен материал (пясък, детрит) образуван върху съоръженията за една година може да достигне и дори да превиши стойностите, необходими за изкуствено подхранване на участъка Траката – Почивка, което според приетите инженерни норми се извършва поне веднъж на 3–4 години. Прилагането на ЕХС би променило съдържанието на понятието “активни брегозащитни съоръжения”, тъй като ЕХС

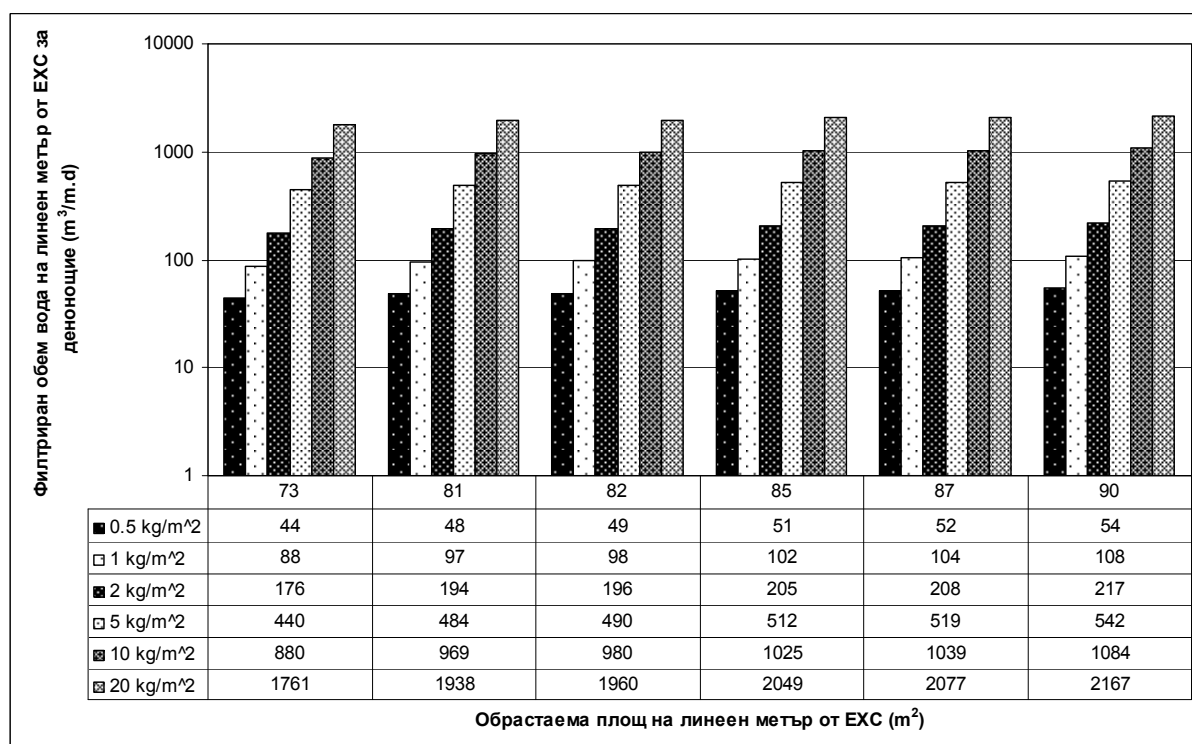
за разлика от традиционните брегозащитни съоръжения не само модифицират наносните потоци, но и добавят нови количества наноси към подводния брегови склон. При това подхранването става по естествен път и не изисква допълнителни разходи.

Филтриран обем на морската вода. Мидите имат важно значение за широкомащабното пречистване на крайбрежните акватории (Dame, Prins, 1998; Ostroumov, 2005). Данните за биопроодуктивността и скоростта на филтрация на мидите позволява да се изчисли екологичния ефект от ЕХС.

Обемът вода на единица дължина от ЕХС е определен по уравнението:

$$F = F_{IND} \left(\frac{B}{WW} \right) A \quad (\text{m}^3/\text{m} \cdot 20 \text{ hr})$$

където: F – скорост на филтрация на линеен метър от вълнолома; F_{IND} – скорост на филтрация на отделния екземпляр; B – биомаса на единица площ (kg/m^2); WW – средна маса (тъкан + черупка) на един екземпляр 12 месеца след първоначалното прикрепване ($WW = 20 \text{ g}$); изразът (B/WW) – брой екземпляри на квадратен метър, получен като частно за разчетните стойности на биопроодуктивността и масата на 1 екземпляр; A – обрастаема площ на единица дължина от вълнолома (m^2/m).

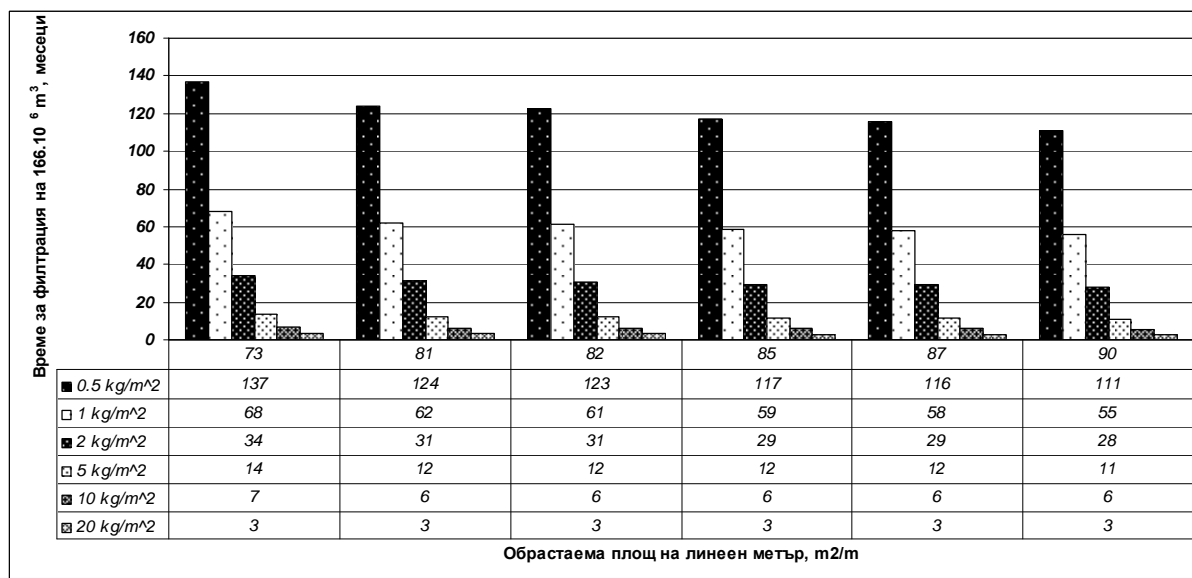


Фиг. 11 Филтриран обем вода на единица дължина за денонощи часа от ЕХС ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{d}$) при обрастаема площ от 73-90 m^2/m и биомаса от 0.5–20 kg/m^2 при скорост на филтрация 50 $\ell/24 \text{ h}$ ($0.05 \text{ m}^3/24 \text{ h}$) за екземпляри на *Mytilus galloprovincialis* с дължина $L = 50 \text{ mm}$ и маса $WW = 20 \text{ g}/\text{екз}$.

Получените данни показват значителния екологичен ефект от използването на ЕХС. Например, в участъка Траката – Почивка с дължина 1.6 km, при обща дължина на вълноломите около 920 m, за вълноломи с различна ширина и обрастаема площ, при разчетна скорост на филтрация $0.0024 \text{ m}^3/\text{час}$ ($2.4 \ell/\text{час}$), времето за пречистване на обема на голям воден басейн, например Варненския залив ($166 \cdot 10^6 \text{ m}^3$), е определено на Фиг. 12 по уравнението:

$$T = \frac{V}{F \cdot L_S \cdot t}$$

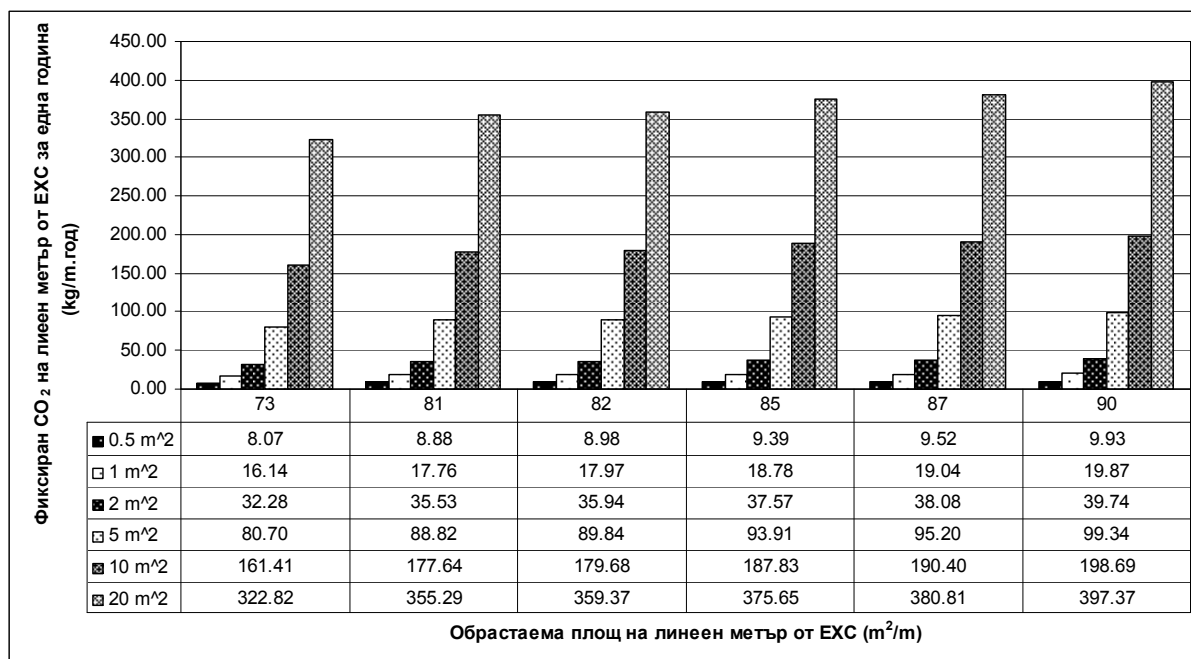
където: V – филтрирания обем вода (в случая $V = 166.10^6 \text{ m}^3$); L_S – обща дължина на вълноломите (m); F – скорост на филтрация на единица дължина от съоръжението ($\text{m}^3/20 \text{ hr}$), определена по (Фиг. 11); t – брой времеви единици (дни, седмици, месеци), който се съдържа в разчетния период на определяне.



Фиг. 12 Време за пречистване на голям воден басейн (на примера на Варненския залив) с обем 166.10^6 m^3 от вълноломи с обща дължина 700 m обрастаема площ от 73-90 m^2/m и биомаса от 0.5–20 kg/m^2 при скорост на филтрация $0.0024 \text{ m}^3/24 \text{ hr}$ ($2.4 \text{ l}/24 \text{ hr}$) за екземпляри на *Mytilus galloprovincialis* с дължина $L=50 \text{ mm}$ и маса 20 g/екз.

Фиксация на въглероден диоксид. Допълнителният екологичен ефект от фиксацията на разтворения в морската вода атмосферен CO_2 се дължи на филтрационния начин на хранене на мидите и използвания от тях основен източник на хранителни вещества – фитопланктона, който редуцира CO_2 до органични вещества в състава на собствената си биомаса. В резултат на тази фиксация на CO_2 по хранителната верига фитопланктон→миди CO_2 се превръща в калциевия карбонат на мидените черупки. Съотношението на моларните маси показва, че масата на атомите на CO_2 е 44% от масата на CaCO_3 (440 g CO_2 в 1 kg CaCO_3). Това позволява определянето масата на CO_2 , съдържащ се в масата на мидените черупки.

За различни стойности на биомасата при различна дължина на страната на ЕХС, количеството CO_2 фиксирано на линеен метър от ЕХС за една година е дадено на Фиг. 13. От фиурата се вижда, че в зависимост от биомасата на мидите (масата на CaCO_3) и обрастаемата площ на единица дължина от ЕХС, еквивалентната маса на CO_2 е от 8 kg/m^2 .год до около 400 kg/m^2 .год. тези количества са съизмерими или превишават значително средногодишната стойност на фиксация на CO_2 от възрастно дърво, който е около 22 $\text{kg}/\text{год}$. Независимо от фиксираното количество при отмирането на дърветата или част от тяхната биомаса, фиксираният CO_2 се връща обратно в атмосферата, докато CaCO_3 е на практика неразтворим, с изключение на моретата от високите географски ширини и океанските дълбини под линията на карбонатна компенсация.



Фиг. 13 Фиксиран CO₂ в мидените черупки на единица дължина от ЕХС (kg CO₂/m-год.) при обрастаема площ от 73-90 m²/m и биомаса от 0.5–20 kg/m².

Геоокологичният ефект от извличането на разтворения в морската вода CO₂ не изисква допълнителни икономически разходи, тъй като е резултат от естествения биогеохимичен кръговрат на въглерода (карбонатите) в крайбрежните екосистеми. Продължителността на този ефект съвпада с експлоатационния срок на ЕХС. Последният ефект превръща ЕХС на практика в “зелена брегозащитна технология” в сравнение с традиционните ресурсопоглещащи брегозащитни технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

1. Брегозащитата на Българското черноморие през последните 30 години се изразява в строителството предимно на буни и дамби, в които са инвестирани значителни за възможностите на страната ни средства. В условията на наносен дефицит, тези съоръжения само преразпределят съществуващите наноси, а без задължителното изкуствено подхранване брегозащитният им ефект е локален, често съпроводен с абразия в подветрените незащитени участъци. Липсата на задължителния мониторинг и негативните последствия, свързани със строителството на тези съоръжения, поставят под въпрос целесъобразността и основанията за тяхното изграждане.

2. Наносният дефицит допълнително се утежнява от безконтролното изземване на инертни материали (пясък и мидени черупки) от плажните ивици. В същото време плажовете са естествени брегозащитни съоръжения и важен рекреационен ресурс, без който са невъзможни нито ефективната и дългосочно устойчива брегозащита, нито развитието на морския туризъм. Поради това разширяването на съществуващите и създаването на нови плажни ивици трябва да бъде задача с приоритетно значение.

3. Наблюденията на изградените съоръжения установяват многобройни разрушения и деформации по тях, които с годините вземат масов характер и

отдавна е станала очевидна необходимостта от ремонти. Средства за ремонти липсват или са недостатъчни, а ремонтите отстраняват щетите, но не и причините за амортизацията на съоръженията. При запазването на тази тенденция и невъзможността за отстраняването им, съоръженията заплашват в обозримо бъдеще да превърнат в хаос от скални и циментови блокове и валуни защитените от тях участъци, които ще станат грозни, недостъпни, опасни и неизползваеми.

4. Подходът за изграждане на масивни непроницаеми брегозащитни съоръжения без съпътстващо подхранване на прилежащите плажове, вместо относително по-икономичното и целесъобразно от брегозащитна и рекреационна гледна точка разширяване на съществуващите плажни ивици и създаването на нови е немотивирано и неустойчиво в дългосрочен план инженерно решение. В същото време изчерпването на съществуващите източници на наноси налага търсенето на нови, което може да е икономически неефективно поради отдалеченост или неподходящ гранулометричен състав. Това налага търсенето на алтернативни решения за брегозащита, основаващи се не естествените процеси и закономерности на плажообразуване.

5. Един такъв подход е естественото плажообразуване в резултат на карбонатна продуктивност на морските скелетни организми, от които най-голямо значение в условията на Българското Черноморско крайбрежие имат видовете от р. *Mytilus*, участващи в образуването на карбонатните пясъчни плажове в бреговите зони от биогеен тип на север от н. Шабла и редица от плажовете по Медноридско-Странджанското крайбрежие. Тези закономерности на естественото плажообразуване са основание за предлагания в настоящата работа инженерно-биологичен метод (ИБМ) за брегозащита, осъществяван чрез екологични хидротехнически съоръжение (ЕХС).

6. Хидравличните свойства на мидените черупки ги определят като подходящ плажообразуващ материал. По-големия хидравличен диаметър определя преобладаващото направление на напречнобрегови транспорт на мидените черупки към брега и по-ниската скорост на надлъжнобреговия транспорт.

7. Голямата карбонатна продуктивност на мидите и голямата обрастаема площ на ЕХС осигуряват инертен материал (мидени черупки и еквивалентни количества карбонатен пясък) за подхранване на плажовете по естествен начин в количества, съизмерими и дори превишаващи количествата, осигурявани чрез традиционните методи за изкуствено подхранване. При това обемът наноси, необходим за достигане на профила на равновесие при подхранване с мидени черупки е значително по-малък от обема, необходим при подхранване с пясъчни наноси.

8. Геоекологичният ефект от използването на ЕХС се определя от високата карбонатна продуктивност и високата скорост на филтрация на морската вода от мидите. Този ефект се изразява в образуването на нови плажни ивици и широкомащабно пречистване на морската вода, съпътстващо използването на ЕХС. Допълнителни предимства в полза на инженерно-биологичния метод са: (1) подхранването се извършва по естествен начин от подводния брегови склон с мидените черупки, отпаднали от ЕХС; (2) мидените черупки са преобразуван по хранителната верига фитопланктон→миди разтворен в морската вода атмосферен CO_2 , който се превръща на практика в неразтворим плажообразуващ материал; (3) извличането на CO_2 и преобразуването му в инертен плажообразуващ материал и транспортирането му до плажа не изисква

допълнителни икономически разходи, което го прави икономически по-целесъобразно в сравнение с традиционните методи за изкуствено подхранване.

9. Отдавна е констатирано, че “новите икономически условия в страната диктуват и нови форми на геозащитна дейност, на организация, финансиране, проектиране и строителство, контрол и отговорности, промени в досегашната нормативна база, конкурсен принцип във вътрешен и международен план и др.” (Стойков, 1998) – крайно наложителни промени, които очевидно все още не са извършени.

10. Отговор на тази необходимост е и разработваният в дисертацията ИБМ и съпътстващите го ЕХС, които претендират да решават комплексно, ефикасно и икономично геозащитните проблеми на Българското черноморие на нова методична и техническа основа, като очертават възможностите за превръщане на брегозащитата от губеща в доходна стопанска дейност. Логично при тази ситуация е продължаване на изследванията в тази посока чрез провеждане на експерименти в лабораторни и натурни условия.

НАУЧНИ ПРИНОСИ.

1. Установено е, че природните условия в районите на Българското черноморско крайбрежие н. Сиврибурун – н. Шабла и н. Калиакра – Бургас са благоприятни в различна степен за брегозащита, вкл. дистанционна, районите н. Шабла – н. Калиакра и Бургас – Резово почти не се нуждаят от брегозащита;

2. Установена е значителната, на места решаваща роля в плажообразуването на литоралните съобщества на *Mytilus galloprovincialis* в умерените ширини и в частност пред българския бряг на Черно море, с което те се очертават като практически неизчерпаема суровина за приложението на ИБМ в национален и световен мащаб;

3. Определени са хидравличните свойства на мидените черупки като плажен нанос и е доказано предимството им като подхранващ инертен материал;

4. Въз основа на тях и по съществуващите зависимости, изведени от уравненията на линеената теория на вълната е установено, че за различни стойности на обезпеченост на ветровата вълна, при липса на значителни препятствия, преобладаващото направление на напречнобреговия наносен транспорт е към брега;

5. Определена са стойностите на дълбочината на затваряне за Варненския залив и наносния дефицит за района на м. Траката – м. Почивка. Средногодишната стойност на дълбочината на затваряне за Варненския залив е определена на $D_s = 5.5$ m. За тази дълбочина обемът на наносния дефицит на линеен метър от участъка м. Траката – м. Почивка е определен на $V = 90$ m³/m.

6. Предложен е нов тип брегозащитни съоръжения – екологични хидротехнически съоръжения (ЕХС), съчетаващи вълногасящия ефект на дистанционните брегозащитни вълноломи със значението на изкуствените рифове за увеличаване на биомасата на обрастателите;

7. Доказани са структурните, функционалните и екологичните предимства на ЕХС пред традиционните брегозащитни съоръжения, което определя техния потенциал за по-нататъшно развитие;

8. Изяснени са хидродинамичните и биогеохимичните условия, при които ЕХС се превръщат в “биологични помпи”, стимулиращи процесите на трансформация на CO₂ от въздуха в инертен (карбонатен) материал за брегозащитата.

Практическо значение. Получените основни резултати могат да послужат за внедряването на геоекологичната брегозащита чрез ИБМ и ЕХС в практиката на брегозащитата на Българското черноморие, за прекратяване строителството на буни, дамби и вълнобойни стени и преодоляването на негативните последици от него.

НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИЯТА:

- Parlichev, D.; Parlichev, G. (2003). Engineering-biological method for coastal protection, in: Dahlin, H. et al. (Ed.) (2003). Building the European capacity in operational oceanography: proceedings of the 3rd International Conference on EuroGOOS 3-6 December, 2002, Athens, Greece. Elsevier Oceanography Series, 69: pp. 574-576.
- Parlichev, D., D. Petrova, S. Stoykov, E. Petrova, G. Parlichev, 2010. Possibilities for increasing the biodiversity of the Bulgarian Black Sea coast. Sixth intern. conf. "Global Changes and the regional development", Sofia, 16–17.04.2010, 153–155.
- Parlichev, D., G. Parlichev, 2010. Environmental Coastal Protection Structures. Sixth intern. conf. "Global Changes and the regional development", Sofia, 16–17.04.2010, 153–155.
- Пейчев, В., Г. Пърличев, 2011. Бреговете морфосистеми – граници и сигурност. Алманах на ВСУ, кн. 5 (под печат)
- Пърличев, Г., В. Пейчев, 2011. Натоварване, реакция и стабилност на проницаем брегозащитен вълнолом. В: Сборник доклади, Пета международна научна конференция "Архитектура, строителство, съвременност", Варна, 8–10 юни 2011, с. 415–425.

Благодарности:

В работата си бях всестранно подпомаган от моя научен ръководител – доц. д-р инж. Веселин Пейчев, на когото съм особено задължен и изказвам своята най-искрена благодарност. Дължа признателност на директора – доц. д-р инж. Атанас Палазов и администрацията на Института по океанология при БАН – Варна за своевременното решаване на всички възникнали въпроси около моята докторантура и за предоставените ми фондови материали на Института. Благодаря на колегите от секция "Морска геология и археология" с ръководител проф. д-р Петко Димитров за доброжелателните съвети и информация по темата на дисертацията, а също за участието в проекти, научни форуми и експедиции. Благодаря и на колегите от Института по рибни ресурси – Варна с директор доц. д-р Даниела Петрова за оказваното при нужда ценно съдействие в работата.