

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ОКЕАНОЛОГИЯ „ФРИТЪОФ НАНСЕН”

ас. инж. Богдан Кирилов Проданов

**ГЕОЛОЖКА ОСНОВА ПРИ КАРТИРАНЕ НА ДЪННИ
МЕСТООБИТАНИЯ В БЪЛГАРСКИЯ
КОНТИНЕНТАЛЕН ШЕЛФ ПРЕД
АВРЕНСКОТО КРАЙБРЕЖИЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертационен труд за придобиване
на образователна и научна степен „Доктор”**

**Област на висше образование: шифър 4. „Природни науки, математика и
информатика”**

Професионално направление: шифър 4.4. „Науки за земята”

Научна специалност, шифър 01.07.10 „Геология на океаните и моретата”

Научно направление „Геоложко картиране на морското дъно“

Секция „Динамика на бреговата зона”

Научен ръководител:

доц. д-р инж. Любомир Иванов Димитров

Институт по океанология „Фритъоф Нансен”

секция „Динамика на бреговата зона”

ВАРНА

2016



Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен семинар на секция „Динамика на бреговата зона“ към Институт по океанология „Фритьоф Нансен“ - Българска Академия на Науките, състоял се на 11 октомври 2016 г.

Авторът е подготвил дисертацията като редовен докторант и асистент в секция „Динамика на бреговата зона“ към Института по океанология „Фритьоф Нансен“ - БАН с научен ръководител доц. д-р инж. Любомир Иванов Димитров /секция „Динамика на бреговата зона“/.

Представеният дисертационен труд в обем от 162 страници, съдържа 4 глави, 58 фигури, 17 таблици и 1 приложение. Списъкът на цитираната литература включва 242 заглавия, от които 123 на кирилица и 119 на латиница.

Защитата на дисертационният труд ще се състои на 17.01.2017 г. от 10.00 ч. в заседателната зала на Институт по океанология „Фритьоф Нансен“ - Българска Академия на Науките, гр. Варна, на бул. „Първи май“ № 40 на открито заседание на петчленно Научно жури в състав:

1. доц. д-р инж. Любомир Иванов Димитров /ИО-БАН/
2. доц. д-р Валентина Георгиева Дончева /ИО-БАН/
3. проф. д-р инж. Бойко Кирилов Рангелов /МГУ „Св. Иван Рилски“/
4. доц. д-р Никола Димитров Ботушаров /СУ „Св. Климент Охридски“/
5. ст.н.с. II ст. д-р Стоян Димитров Керемедчиев

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в библиотеката на Институт по океанология „Фритьоф Нансен“ - Българска Академия на Науките, гр. Варна, бул. „Първи май“ № 40.

Заглавие на дисертацията: „Геоложка основа при картиране на дънни местообитания в Българския континентален шелф пред Авренското крайбрежие“

Автор: ас. инж. Богдан Кирилов Проданов

гр. Варна – 9003, бул. „Първи май“ № 40, п.к. 152,
Институт по океанология „Фритьоф Нансен“ – БАН
Секция „Динамика на бреговата зона“
Тел.: (052) 370 493
E-mail: bprodanov@io-bas.bg

ВЪВЕДЕНИЕ

Актуалност на темата

С приемането на Република България в Европейския Съюз, страната ни пое редица обвързващи ангажименти, произтичащи от действащи директиви на европейско ниво. „Рамкова директива за местообитанията”, „Рамкова директива за водите” и „Рамкова директива за морска стратегия“ ангажират с комплексно картиране на сухоземните и акваториално-морските участъци на страната. Това налага системно проучване и комплексно изследване на Българския сектор от Черно море, като геоморфоложкото и геоложко картиране на морското дъно се явяват първостепенна задача от национално значение. През последните десетилетия човешкото въздействие върху морската околната среда достига безпрецедентни нива. За да се улесни интегрираното управление на морската околна среда и да се оптимизира морското пространствено планиране, с цел смекчаване на тези въздействия, е необходимо да се подобри нашето разбиране относно морското дъно.

Масштабни изследвания на Българския континентален шелф (БКШ) започват след 50-те години на ХХ-ти век, като за фундаментални се приемат трудове като (*Отчетен..., 1978; Геология..., 1979; Геолого-геофизические..., 1980; Нефте-газогенетические..., 1984; Геологическая..., 1990*). Основополагащи за тектонската регионализация на БКШ са изследванията на *Глумов и др. (1971), Велчев (1971), Гончаров и др. (1972), Головинский и др. (1975, 1977); Головинский и Глумов (1976)* и други. В геоморфоложки аспект, БКШ е изучаван детайлно преди 1990 г. съвместно от български и съветски екипи (*Федоров, 1963; Лилиенберг и др., 1964; Лилиенберг, 1966, 1970; Мишев и др., 1971; Пърличев и Марков, 1971, 1972; Пърличев и Петров, 1974; Сорокин и др., 1980; Сорокин, 1984; Куприн и др., 1980; Попов и Мишев, 1984; Чочов, 1984; Khrishev & Shopov, 1987; Михова, 1989; Крыстев и Михова, 1990*). От наличната достъпна научна литература и данни може да се заключи, че изследванията до момента са с регионален характер, който е подходящ само за обща характеристика на континенталния шелф и дребно мащабни картни построения, и този етап е завършил още в началото на настоящия век.

За изследване на съвременните геоложки процеси и генетична интерпретация на основните геоморфоложки единици, пространственото разпределение на бентосната флора и фауна, както и за планиране и управление на биологични и минерални ресурси и различен тип инженерни дейности на морското дъно, е необходимо прилагането на иновативни методи на проучване с възможност за едро мащабно детайлизиране на наличната информация.

Съвременните дистанционни, геоложки и седиментоложки проучвания, проведени след 2000-та година (*Керемедчиев и Пейчев, 2001; Керемедчиев,*

2004; *Site Survey Report...*, 2007) и приоритетно след 2010-та година (Кожухаров и кол., 2010; *Geotechnical works...*, 2011; Пейчев и Димитров, 2012; Коцев и Керемедчиев, 2012; *Marine Seabed...*, 2013; *Marine Ecology...*, 2013; *Prodanov et al.*, 2013; Станчев и кол., 2013; Трифонова и кол., 2013; Коцев, 2014; *Hristova*, 2015; *Христова*, 2015; *Проданов и Димитров*, 2015, 2015a; *Todorova et al.*, 2015), широко застъпват морфологията, литологията, литостратиграфията на шелфа и картирането на подводни физически местообитания. Актуалността на тези изследвания и достъпността на материалите от тях е причина за избора на район на изследване в дисертационния труд – континенталния шелф пред Авренското крайбрежие между н. Галата и н. Иланджик.

Настоящото изследване се фокусира върху геоложката основа при картиране на подводни местообитания, чрез комбиниране на широк спектър иновативни изследвания (с многолъчев ехолот, странично-сканиращи сонарни системи, многолъчева сонарна система, седиментен профилограф и подводно видеозаснемане), подкрепени с класическите методи за геолошко пробонабиране (с дъночерпател „Van Veen”, гравитачно и вибро сондиране), което позволява изясняване на съвременните геоложки условия в повърхностния седиментен слой на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие. Геоложки ориентирания етап от картирането на местообитанията се ограничава до излъчването на абиотичните характеристики на дъното (дълбочина и седимент). Те могат да послужат за последващо извеждане на физически (подводни) местообитания, при наличие на данни за други физико-химични параметри (вълнение, светлина и температура), които са функция на разпространението на биологичните съобщества.

Резултатите от настоящия труд освен от полза за геоложката изученост на Българския континентален шелф и картирането на местообитания, представят своеобразна интердисциплинарна интегрална гео-база данни, която ще спомогне при решаването на бъдещи инженерно-геоложки, инженерно-геофизични, проектантски задачи и планове за управление на Българския Черноморски сектор.

Цели и задачи на дисертационния труд

ЦЕЛ: Картиране на морското дъно като геоложка основа за извеждане на подводни физически местообитания чрез интегриране на данни от дистанционни, геоложки и седиментоложки изследвания в континенталния шелф пред Авренското крайбрежие между н. Галата и н. Иланджик.

Задачи:

- 1. Да се приложат иновативни методи за картиране на геоложката основа. Това включва избор на екологично съобразни дистанционни методи за проучване на релефа на дъното, както и геоложки такива за физическо опробване на седимента от повърхностния слой. За всеки метод да се изготви литературна обосновка за приложението му, справка за използването му в международен план и описание на методиката на работа;*
- 2. Методологията за картиране на геоложката основа да се адаптира за идентификация на подводни физически местообитания в условията на Българския шелф, според наличните фондови материали и проведени изследвания;*
- 3. Да се изготви теренен модел на релефа на дъното с възможност за проследяване на микро форми на релефа и построяване на високо точни батиметрични карти;*
- 4. Да се изградят сонарни мозайки на морското дъно с висока резолюция с цел изследване на дънните разновидности по физически характеристики;*
- 5. Да бъде направен сравнителен анализ на класификационни системи за морските отложения. Наличните седиментоложки анализирани геоложки станции да бъдат унифицирани и подходящо систематизирани за изготвяне на литоложки карти в различни мащаби и класификации на седимента;*
- 6. Да бъдат геопространствено дефинирани геоморфоложките зони на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие, чрез анализ на теренен модел на дъното по морфометрични характеристики и седиментни разрези;*
- 7. Да бъдат картирани литоложките разновидности на дънните седименти, както по БДС 676 (1985), така и в международно възприетите класификационни системи Wentworth (1922) и Folk (1954, 1974);*
- 8. Резултатите да бъдат визуализирани в разномащабни морфо-литоложки и литоложки карти.*

Преглед на дисертационния труд

Дисертационният труд се състои от въведение, цели и задачи, четири глави, заключения, приноси и бъдещи изследвания. Общият обем е 162 страници, като са представени 58 фигури, 17 таблици и едно приложение.

Глава I. В контекста на поставените цели дисертацията започва с характеристика на геолого-тектонските елементи на Западния Черноморски басейн и тектонския строеж на Българския континентален шелф (БКШ) посредством литературен обзор по тематиката. Проследени са главните тектонски елементи на БКШ. Представена е геоморфоложка характеристика на шелфа, като главните му зони – прибрежна, централна и периферна зони са диференцирани на отделните съставлящи ги елементи. Описани са литостратиграфските единици, изграждащи дънните седименти на шелфа. След анализ на наличната информация от Фонда на Института по океанология-БАН (ИО-БАН) и доклади от съвременни изследвания със свободен достъп, е избран район на изследване – континенталния шелф пред Авренското крайбрежие, между н. Галата и н. Иланджик.

Глава II. В нея са описани основните методи и методики на изследване, като е направен исторически преглед на развитието им и са обосновани изискванията за комбинирането им. В допълнение е представен литературен обзор на проведените дистанционни и геоложки проучвания в района, като данните са структурирани във вид удобен за интегриране в настоящото изследване. Релевантните, към настоящия дисертационен труд, проучвания са представени в началната си (преданализационна) фаза. Описани са полевите дейности, методиката на пробонабиране и вида на получените „сурови” данни.

Глава III. Представена е методологията, на която стъпва настоящото изследване. Процесът по пост-обработката на използваните данни е условно поделен в следните етапи: генериране на цифров модел на релефа на дъното, последван от изготвяне на батиметрични карти, създаване на сонарни мозайки и картиране на физически разновидности на дъното по тях.

Направен е сравнителен анализ на класификационните системи за морски отложения. Седиментоложки анализираните проби са унифицирани в световни общо приети класификационни системи, което способства за последващото им използване в европейски програми за картографиране на седимента.

Глава IV. Предложено е геоморфолошко зонироване на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие, основаващо се на морфометрични параметри от теренния модел на дъното и седиментни разрези разположени по протежение на изследваната акватория.

Литологията на континенталния шелф е разгледана чрез комплект от различни по мащаб и класификация карти, като от мащаб 1:250 000 следва детайлизиране до мащаб 1:10 000. Седиментът в настоящия труд е анализиран в контекста на геоложка основа при картиране на дънни физически местообитания.

ОСНОВНО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Глава I. Геолого-тектонска характеристика на Българския континентален шелф

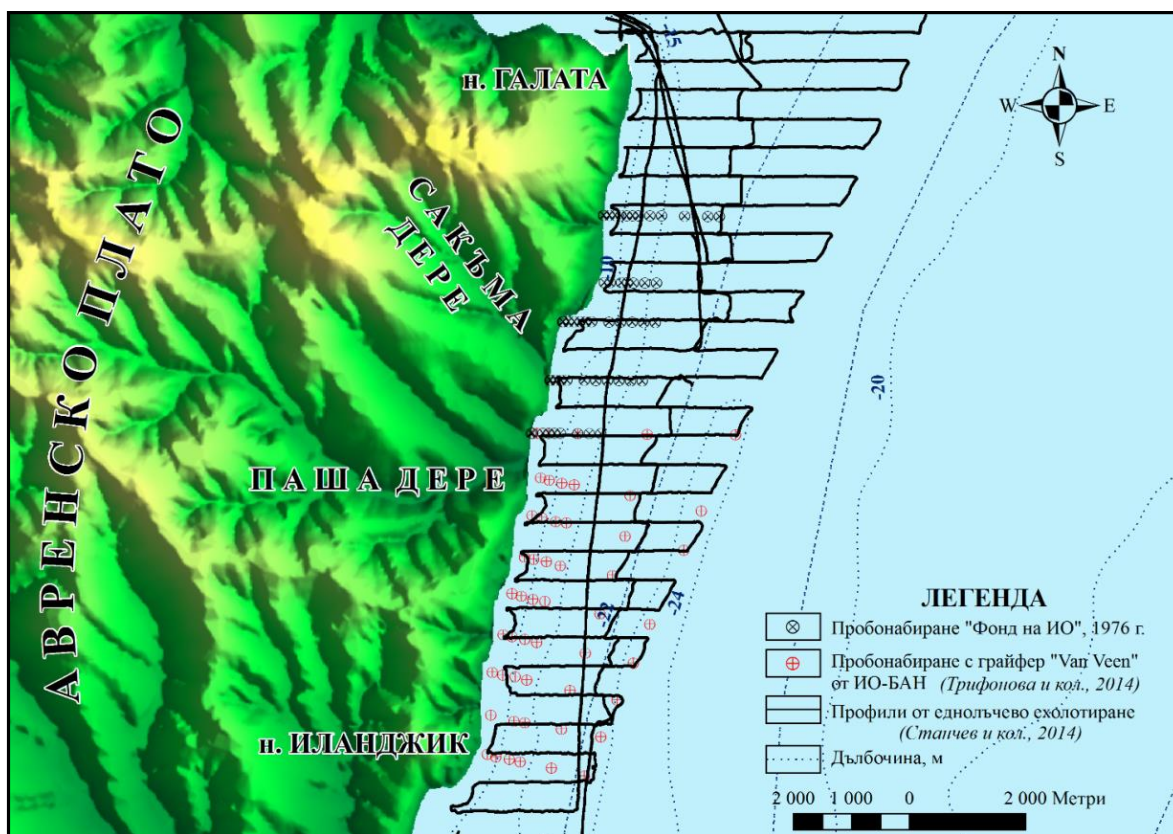
В Глава I, въз основа на подробен литературен обзор, са разгледани геолого-тектонските елементи на Западния Черноморски басейн и тектонския строеж на Българския континентален шелф. Проследени са главните му тектонски елементи: Мизийска платформа, Долнокамчийско понижение, Балканиди (Източно-Старопланинска зона), Средногорие (Бургаска падина), Континентален склон и подножие. Представена е геоморфоложка характеристика на БКШ, като главните му зони (Прибрежна, Централна и Периферна, са диференцирани на отделните съставлящи ги елементи: *Прибрежна зона, Подзона на вътрешната депресия, Подзона на акумулативните валове, Подзона на слабо разчленената наклонена равнина и Периферна шелфова зона.* Описани са литостратиграфските единици, изграждащи дънните седимента на шелфа. Проведеният анализ позволява да се заключи, че до началото на настоящия век изследванията са предимно с регионален характер, който е подходящ само за обща характеристика на континенталния шелф и дребно мащабни картни построения.

Обособен е районът на изследване, като прилежащата му брегова част и общите му геолого-геоморфоложки характеристики са описани въз основа на литературни източници.

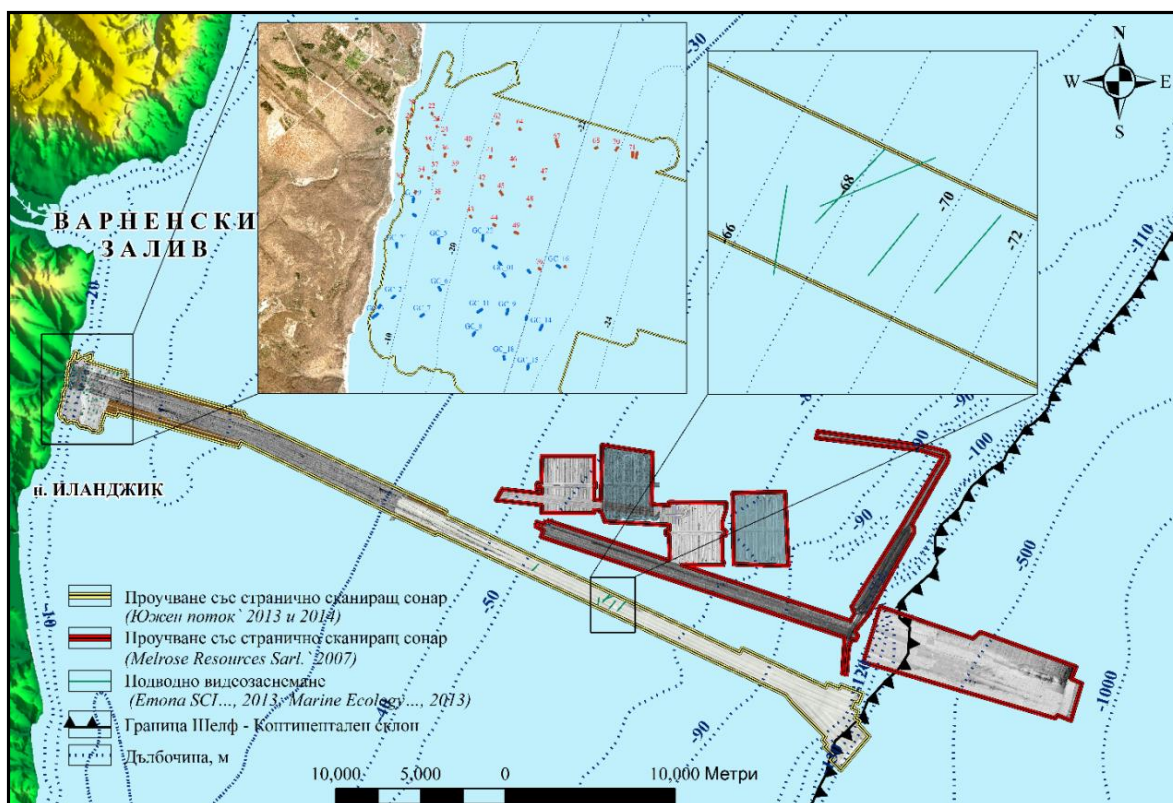
Глава II. Методика и техника на използваните данни в района на изследване

В настоящата глава са представени различните видове техника, апаратура и методиката на приложените на дистанционни, геоложки и седиментоложки изследвания, използвани за картиране на морското дъно в настоящата работа (*Фиг. II.1; Фиг. II.2; Фиг. II.3*). Проследено е развитието и моментното състояние на приложените системи, като са изложени и някои практически насоки за използването им. Вниманието е отделено и на техниката и методиката за провеждане на ситов и ареометров анализ, извършвани в лабораторията по Литодинамика към ИО.

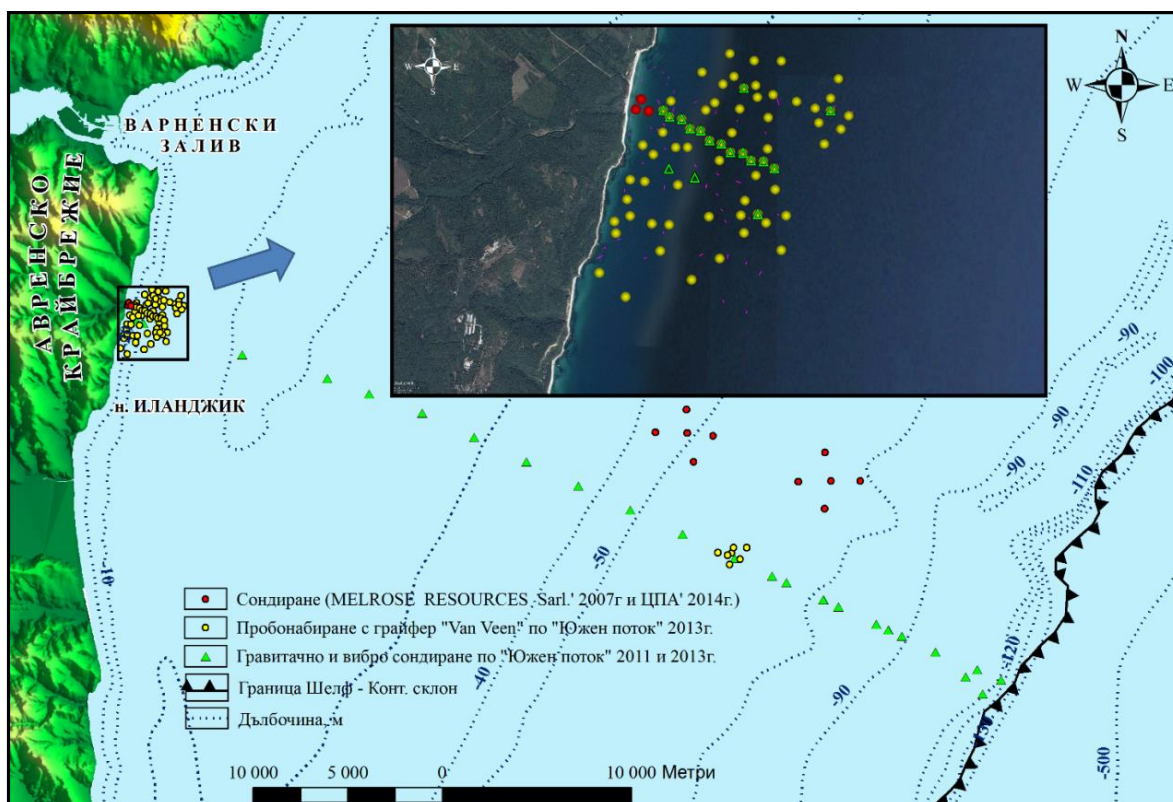
Описани са всички проведени изследвания във времеви период от 2007 г. до 2014 г., и в детайли са дадени типа и обема на получените данни. Подбраните на база качество данни, са както от фонда на секция „Динамика на бреговата зона“ към ИО-БАН, така и от официални доклади и отчети. Част от информацията е любезно предоставена от Центъра за подводна археология, гр. Созопол.



Фигура II.1. Схема на фактическия материал при пробонабиране с дъночерпател „Van Veen“ и еднолъчево ехолотиране



Фигура II.2. Схема на фактическия материал на изследвания с многолъчеви сонарни системи, странично-сканиращ сонар и подводно видеозаснемане



Фигура II.3. Схема на фактическия материал от пробонабиране с дъночерпател „Van Veen”, гравитачно и вибро сондиране в периода 2007-2014 г

За придобиване на информация относно типа и формите на дънния релеф в изследвания участък са използвани осем различни по методика проучвания, които могат да бъдат обобщени в две главни направления: *дистанционни и физическо (геоложко) опробване*. Дистанционно, след 2007 г., с участие и на автора, посредством многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар, са обследвани приблизително 35% от акваторията, като в непокритите площно райони са използвани 25 профила от еднолъчево ехолотиране проведено на дълбочини до 27 м. Геоложките условия под дъното са изяснени посредством данни от седиментен профилограф. Уточняването на вида на седимента е извършено на базата на данни от 62 геоложки станции опробвани чрез гравитачно и вибро сондиране

Верифицирането на дънния субстрат, както в бреговата зона, така и за дълбочини до 70 м е извършено въз основа на 169 бр. станции с пробонабиране посредством дъночерпател „Van Veen”, както и със снимков материал получен от подводни, дистанционно управляеми средства.

Всички първично получени данни са приведени в ГИС-база данни, във вид удобен за последващата им обработка и интерпретация, представена в *Глава III*.

Глава III. Пост-обработка и анализ на използваните данни

В Глава III са описани отделните етапи при пост-обработката на използваните данни и методологията за изучаване на геоложката основа при картиране на дънни местообитания, като са дефинирани пространствените ѝ параметри.

III.1. Методология за изследване на геоложката основа при картиране на дънни местообитания в българската крайбрежна акватория

Представената методология (Фиг. III.1) е изцяло съобразена с нуждите от геопространствени данни за повърхностния седиментен слой, включващи литология (тип субстрат) и морфология (релеф) в изследвания район. Тя е условно поделена на пет етапа.

Етап I. В него на базата на подробен литературен анализ са изведени: обща постановка на геолого-тектонския строеж и геоморфоложките условия на Българския континентален шелф. Направена е справка за достъпни фондови и интернет материали от предишни изследвания, според които е определен район на изследване – континенталния шелф между н. Галата и н. Иланджик. В тази връзка са съчетани и различни по характер морски изследвания – *дистанционни* (еднолъчеви и многолъчеви ехолоти, странично-сканиращи сонарни системи, многолъчеви сонарни системи и дънен профилограф) и *геоложки* (гравитачно и вибро сондиране, пробонабиране с дъночерпател „*Van Veen*” и подводно видеозаснемане), проведени с участие на автора.

Етап II. В него се съчетава пост-обработката на използваните „сурови“ данни от полеви проучвания и привеждането им във вид готов за интеграция и интерпретация.

Първоначално е създаден комплект от различни по тип изходни графични данни, които включват ортофото и сателитни изображения, разномасщабни сканирани карти, картосхеми и планове, ГИС слоеве, цифрови модели на височините, батиметрични контури и други, гео-реферирани и приведени в единна *координатна проекция WGS84*.

За изясняване на морфоложкия облик на района по данни от многолъчево ехолотиране са генерирани два цифрови модела (ЦМ) на релефа на дъното. За прибрежната зона, хоризонталната резолюция на ЦМ е 5 м, а за целия континентален шелф пред Авренското крайбрежие – 20 м, като от тях са извлечени батиметрични контури през 0.5 м. Последните служат за построяване на батиметрични карти на района.

За визуализиране на физическите разновидности на дъното са използвани данни от локатор за страничен обзор и многолъчева сонарна система. Процесът на пост-обработка преминава през създаване на високо резолюционни сонарни мозайки до обединението им в растерен тип файл. Последният служи за

картиране на физическите разновидности по сонарни мозайки, изготвени във векторен тип файл.

Данни за литоложката структура са получени от подводно видеозаснемане, гравитачно и вибро сондиране и пробонабиране с дъночерпател „*Van Veen*”. Резултатите от подводното заснемане са обработени до ниво растерни изображения на дъното, с координати позволяващи точно локализиране на наблюдавания субстрат.

Първични седиментоложки анализирани данни от пробонабиране и сондиране са получени от Лабораторията по литодинамика към *ИО-БАН* и *BioKor kfl (Marine Seabed..., 2013)*. Те са унифицирани в няколко класификационни системи за удобство при изготвянето на различни по тип и мащаб литоложки карти.

Изложените във II-рия етап пост-обработени данни са приведени в интегрална гео-база данни с единна *координатна проекция WGS84*, което позволява да се премине към верифициране на литоложката основа.

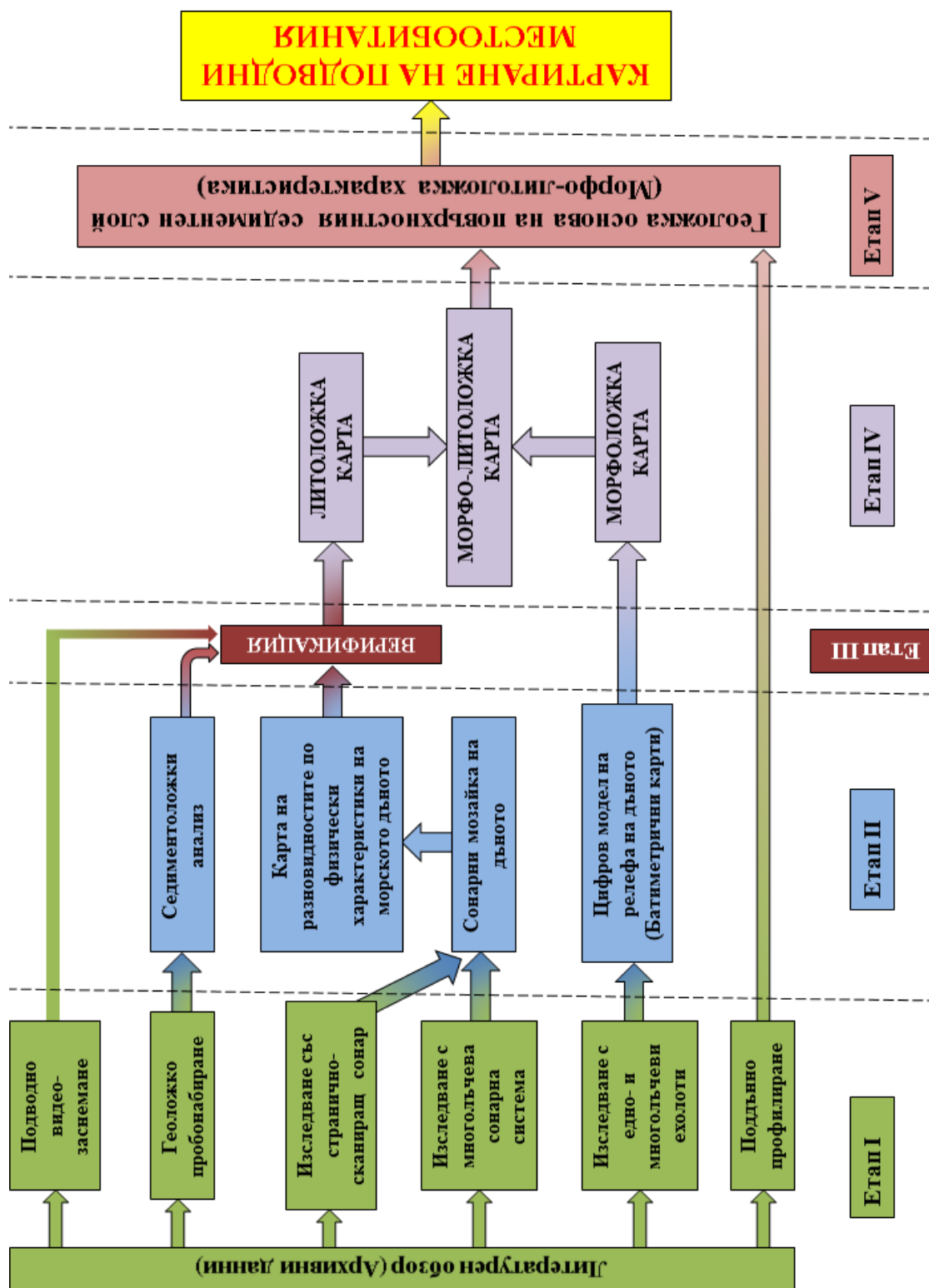
Етап III. Процесът на верификация е преходен процес. При него от *Карта на физическите разновидности по сонарни мозайки* се преминава към *Литоложка карта*. На базата на седиментоложки анализирани и класифицирани геоложки станции и геореферираните подводнозаснети изображения се валидират векторно подготвените физически разновидности на дъното.

Етап IV. За целите на дисертацията геоложка основата условно се разглежда в два аспекта. Първият е изцяло обвързан с геоморфологията на изследваната част от Българския континентален шелф, докато втория се фокусира върху най-горния седиментен слой.

Първоначално, от високо резолюционните сонарни мозайки и теренни модели на релефа на дъното, са екстрахирани морфометрични параметри, чрез които е направено геоморфолошко зониране на шелфа. Проследени са границите на морфоложките форми на релефа: *прибрежна зона, предвалово понижение, Калиакренски акумулативен вал, наклонена шелфова равнина, периферни валове, периферна шелфова тераса и границата шелф – континентален склон*. Литоложкия облик на шелфа е представен в различни по тип, класификация и мащаб карти. Унифицираните геоложки станции позволяват построяването на литоложки карти както на целия шелф, така и на прибрежната зона.

Обобщение на морфологията и литологията на шелфа е представено под формата на *Морфо-литоложка карта на шелфа пред Аврентското крайбрежие в мащаб 1:250 000*. Посредством седиментни разреза на бреговата и централната шелфова зона, всяка геоморфоложка форма е геопространствено изучена и дефинирана.

Етап V. След изучаване на шелфа на базата на използваните иновативни методи за изследване, анализирайки наличните данните и тяхната плътност, е



Фигура III.1. Методология за изследване на геоложка основа при картиране на дъни местообитания в българската крайбрежна акватория (графика: ас. инж. Богдан Проданов)

избран районът на *бреговата зона пред Паша дере*, който е детайлно литоложки картографиран в мащаб 1:25 000.

Съставените морфоложки и литоложки карти, верифицирани с подводно видеоаснемане, е началния (геоложки ориентиран) етап в картирането на подводни местообитания. Те дават база за последващо извеждане на физически (подводни) местообитания, при наличие на данни за други физико-химични параметри (вълнение, светлина и температура), които са функция на разпространението на биологичните съобщества.

III.2. Цифров модел на релефа на дъното в изследвания район

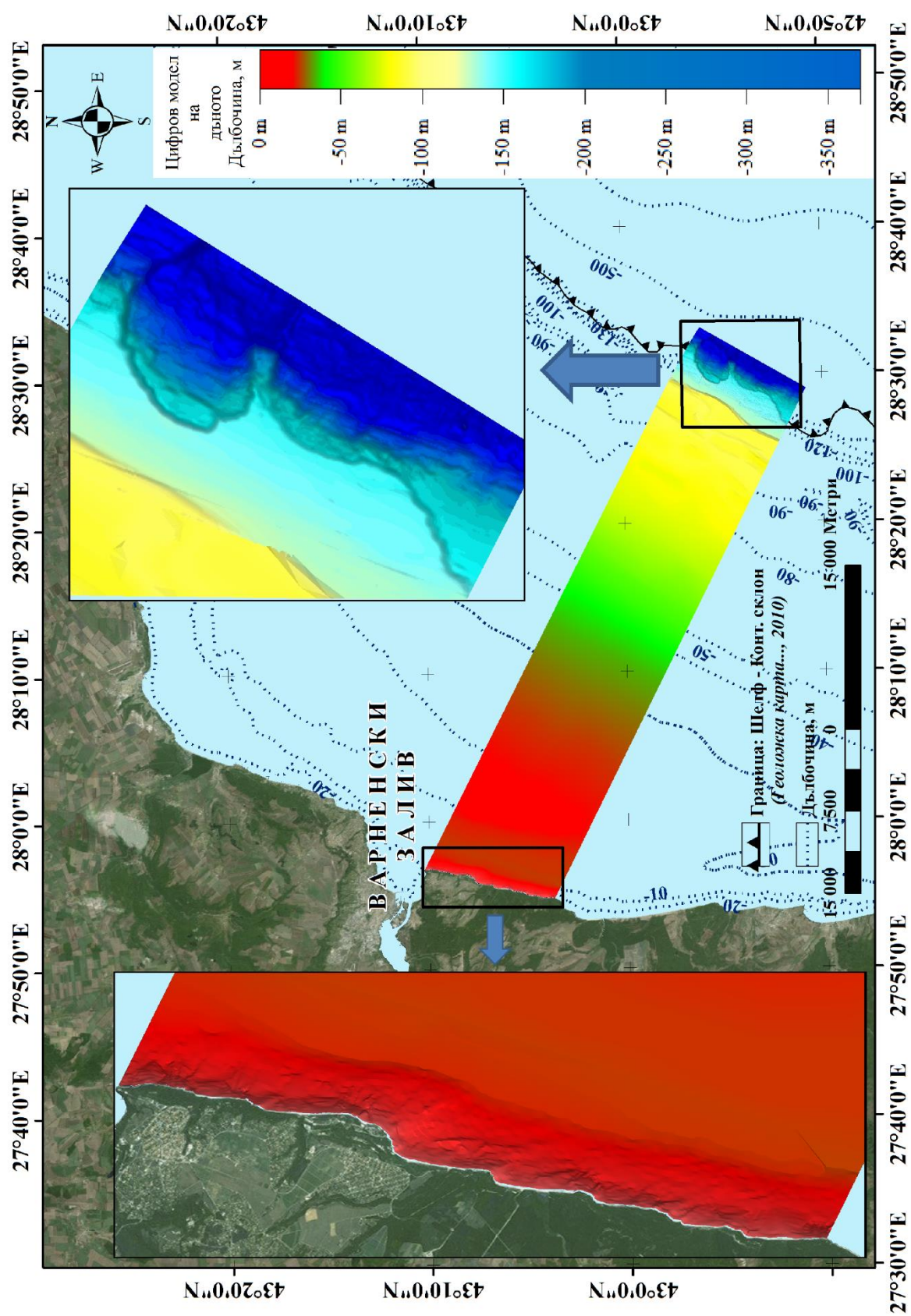
Морфо-литоложките условия в района на изследване, като правило са в тясна връзка с релефа. Поради това, за целите на дисертационния труд, са създадени *Цифрови (теренни) Модели на Релефа на Дъното (ЦМРД)*. В световната практика термина ЦМРД често се среща и като *Батиметричен Модел на Дъното (БМД)*. Всеки модел е прецизиран според мащаба на картиране, резолюцията и дълбочинния диапазон.

За целия изследван район е генериран ЦМРД, като изходните (X,Y,Z) данни позволяват резолюцията му да се сведе до 20 м (*Фиг. III.2*). Той е резултат от обобщаването на данни от измервания с еднолъчев и многолъчев ехолот, многолъчева сонарна система и дигитализирани дълбочини от Батиметрична карта на българския сектор от Черно море в мащаб 1: 100 000, като близо 50 % от изследваната акватория е картирана с многолъчева сонарна система и многолъчев ехолот.

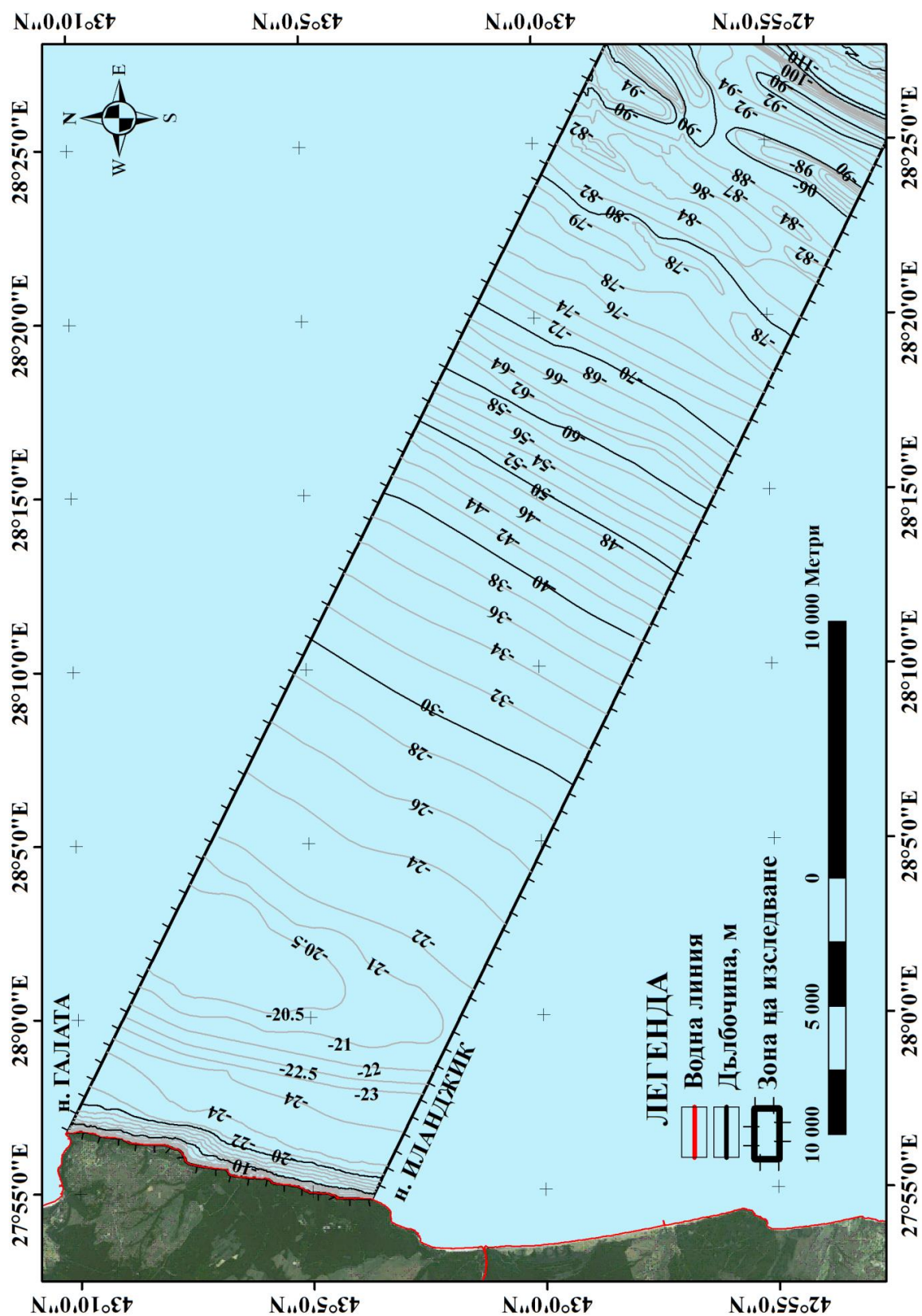
За нуждите на детайлния морфо-литоложки анализ, заложен като основна задача в дисертационния труд, е генериран батиметричен цифров модел на релефа на дъното с хоризонтална резолюция от 5 м. За разлика от показания на *Фиг. III.2* модел, в този е търсено високо разрешение, което дава възможност за фиксиране на мало-мащабни морфоложки структури в прибрежната зона. При комплектоването на изходните данни са използвани профили от еднолъчев ехолот, батиметрични данни (*Станчев и кол., 2013*), многолъчеви ехолотни изследвания на Център за подводна археология и изследвания с многолъчева сонарна система (*Marine Seabed..., 2013*).

III.2.1. Батиметрични карти на дъното

Въз основа на генерираните цифрови модели на дъното са съставени три високо точни батиметрични карти, като условно са разделени според геоморфоложкото райониране и морфоструктурите по протежение на континенталния шелф в изследваната акватория. За зони с рязка промяна на релефа (прибрежна зона и континентален склон) е подбрана визуализация в среден мащаб 1:50 000, докато за слабо разчленената зона в централния шелфов район е избран дребен мащаб – 1:200 000. На *Фиг. III.3* е представена *Батиметрична карта на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:200 000*. Освен при анализа на геоложката основа, дълбочините от батиметричните карти са разгледани и като абиотична характеристика на местообитанията.



Фигура III.2. Распределен батиметричен модел на изследвания район с хоризонтална резолюция 20 м



Фигура III.3. Батиметрична карта на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:200 000

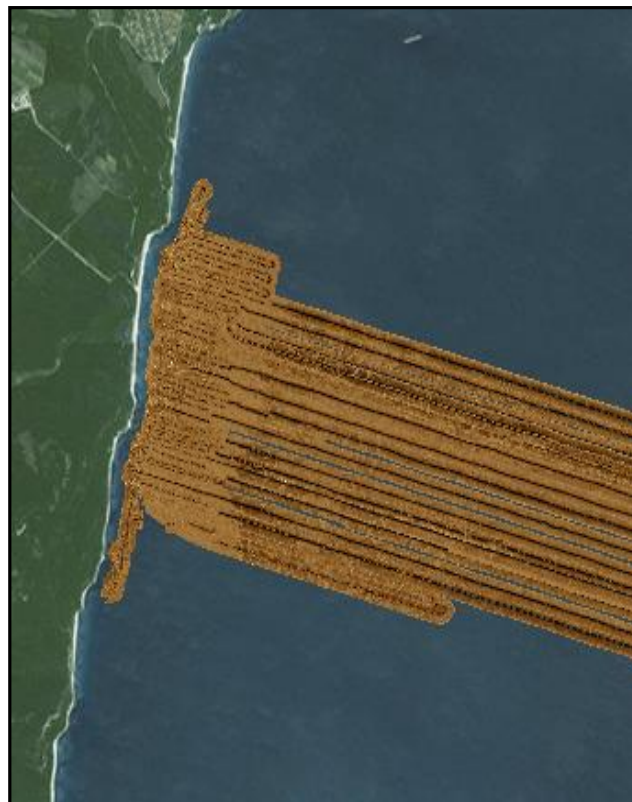
III.3. Картиране по сонарни мозайки

В Глава II бяха разгледани сонарните системи, генериращи сонарни изображения. В настоящия труд са използвани данни от многолъчеви сонарни изследвания (*Site Survey Report...*, 2007; *Marine Seabed...*, 2013) и данни предоставени от Центъра за подводна археология, гр. Созопол, с площ от 116 км².

В практиката пост-обработката на данни от сонарни изследвания цели създаването на високо резолюционна мозайка – Фиг. III.4 и Фиг. III.5.

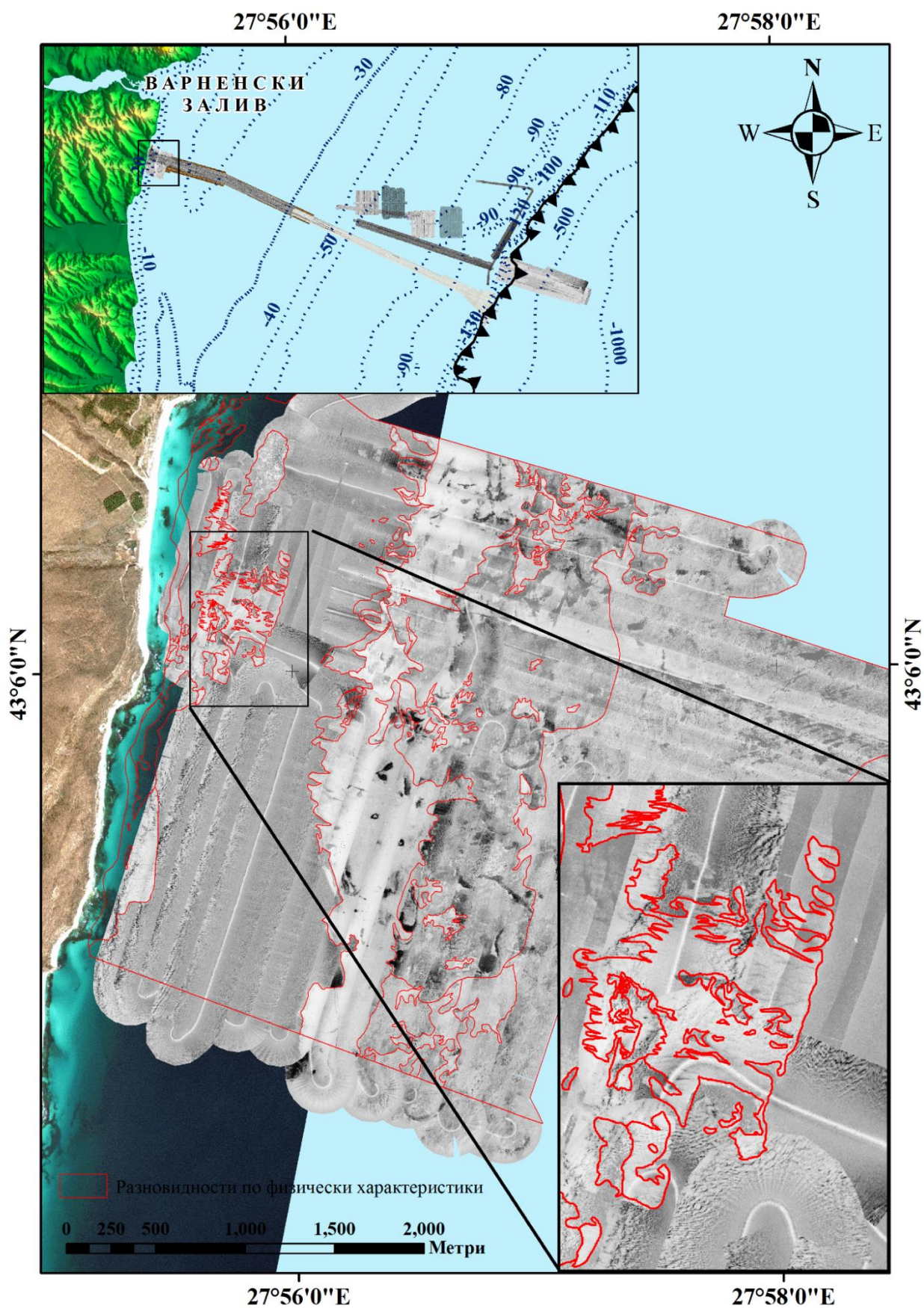


Фигура III.4. Сонарна мозайка с резолюция 0.5 м на пиксел, с 5 характерни ситуации на разновидности по физически характеристики (*Marine Ecology...*, 2013)



Фигура III.5. Сонарна мозайка с резолюция 1 м на пиксел, предоставена от Центъра за подводна археология, гр. Созопол

Сонарните мозайки (*.GeoTIFF формат) са подходящи за последващ геопропространствен анализ в ГИС-среда. Различните вариации на отражателната способност на дъното са оконтурени във векторен тип формат (*.SHP - Shapefile shape format) чрез програмния продукт *Global Mapper 14*. Изчертаните геопропространствени данни са отправна точка при съставянето на *Карта на разновидностите по физически характеристики* (Фиг. III.6).



Фигура III.6. Карта на разновидностите по физически характеристики (прибрежна зона пред Паша дере)

Необходимо е да се направи важно уточнение по отношение на разновидностите на дънния субстрат по физически характеристики. Оконтуряването се основава на анализ на цветовата комбинация във всеки пиксел (*RGB Color Codes Chart; Red-Green-Blue value of any pixel*). За различни разновидности по физически характеристики са приети зони с разлика в цветовата гама и текстурата (*Blondel, 2009*). При дефинирането на разновидностите, в определени локации се наблюдават и следи с антропогенен произход, мидени банки и изяви морфоложки структури, които може лесно да бъдат грешно интерпретирани като разлика в литоложките разновидности.

Фигурата показва оконтурени разновидности, които са с прогнозен характер и без верификация с геоложки проби не представят седиментната покривка на морското дъно.

III.4. Класифициране на седимента по геоложко пробонабиране

За изследване на геоложката основа и по-специално повърхностния седиментен слой, са използвани данни от различни проучвания. В района на изследване попадат 186 геоложки проби.

От Фонда на секция „Динамика на бреговата зона“ към ИО-БАН има данни за 109 станции, включващи: тип на анализа, тип пробонабиране, разпределение по фракции, тип субстрат (тиня, песъчлива тиня, пясък, чакъл) и статистическите характеристики на разпределение на фракциите, категоризирани по Български държавен стандарт БДС 676 (1985) в „Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ)“ (*Трифенова и кол., 2013*). Информацията за други 75 станции е за фракционното им разпределение, включваща още карбонатно съдържание и координати (*Marine Seabed..., 2013*).

III.4.1. Сравнителен анализ на класификационни схеми на морски отложения

Разминаването във формата на класифициране на данните налага сравнителен анализ на класификационните системи за морски отложения. В световен мащаб при изследвания на морския седимент (включително и от българска страна) се използват различни класификации, като основополагащи и най-широко използвани са следните: за кластични седименти (*Udden, 1914*), Wentworth size class scheme (*Wentworth, 1922*), Folk (*Folk, 1954, 1974*), *Friedman & Sanders (1978)* и Gradistat, приложена в специално изготвен софтуерен продукт *Gradistat Program (Blott & Pye, 2001)*. Гореописаните класификации са съпоставени посредством сравнителен анализ представен в Таблицу III.7-8.

Таблица III.7. Сравнение между граници на отделяне на различни видове едър седимент (Udden, 1994; Wentworth, 1922; Friedman & Sanders, 1978; БДС 676, 1985; Blott & Pye, 2001)

Размер на зърното		Класификация и терминология					Размер на зърното
phy	mm	Udden (1914) u Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program (Blott and Pye, 2001)	БДС 676 от 1985 г		mm
					Строителни почви	Морски седименти (Трифонова и кол., 2013)	
-11	2048	Cobbles	Very large boulders	Very large Large Large Medium	Валуни	Валуни	200
-10	1024		Large boulders				
-9	512		Medium boulders				
-8	256		Small boulders				
-7	128	Pebbles	Large cobbles	Small Very small Very coarse Coarse	Едър чакъл	Едър чакъл	20
-6	64		Small cobbles				
-5	32		Very coarse pebbles				
-4	16		Coarse pebbles				
-3	8	Granules	Medium pebbles	Medium Fine	Среден чакъл	Среден чакъл	5
-2	4		Fine pebbles				
-1	2	Very coarse sand	Very fine pebbles	Very fine Very coarse sand	Дребен чакъл	Дребен чакъл	2
			Very coarse sand				
			Very coarse sand		Едър пясък	Едър пясък	

Таблица III.8. Сравнение между граници на отделяне на различни видове дребен седимент (Udden, 1994; Wentworth, 1922; Friedman & Sanders, 1978; БДС 676, 1985; Blott & Pye, 2001)

Размер на зърното		Класификация и терминология					Размер на зърното
phy	mm/ µm	Udden (1914) u Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program (Blott and Pye, 2001)	БДС 676 от 1985 г		mm/ µm
					Строителни почви	Морски седименти (Трифонова и кол., 2013)	
-1	2 m	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse	Едър пясък	Едър пясък	2 m
0	1 m						
1	500 µm						
2	250						
3	125	Fine sand	Fine sand	Fine	Дребен пясък	Дребен пясък	100
4	63						
5	31	Silt	Very coarse silt	Very coarse Coarse Medium Fine	Ситен прах	Песъчлива глина	78
6	16		Coarse silt				
7	8		Medium silt				
8	4		Fine silt				
9	2	Clay	Very fine silt	Very fine	Глина	Глина	42
			Clay				

Резултатите от сравнителния анализ показаха разминаване в границите на размерност както при едрите, така и при дребните седименти, което наложи унифициране на всички станции. За приравняване при класифицирането на геоложките станции е използван *Microsoft* базиран програмен продукт „*GRADISTAT Program – Grain size Analysis Program*” (Blott & Pye, 2001). С негова помощ всички налични седиментоложки анализирани станции са унифицирани според световно възприетите системи за морски отложения, въведени от Udden (1994), Wentworth (1922), Folk (1954, 1974), Friedman & Sanders (1978), БДС 676 (1985), Blott & Pye (2001).

Глава IV. Геоложка основа при картиране на дънни местообитания

В Глава IV е представен анализ на геоложката основа на континенталния шелф между н. Галата и н. Иланджик и резултатите от него, под формата на разреди, карти и приложения. Анализът на геоложката основа стъпва на множество фундаментални изследвания в Българския сектор на Черно море, както и на съвременни такива след 2007 г. Приоритет на настоящото изследване е повърхностния (най-горен) слой от седимента. За изясняване на морфолитоложките му условия са използвани данни от многолъчева сонарна система, странично-сканиращ сонар и седиментен профилограф.

IV.1. Морфо-литоложки анализ на изследвания район

Основа при разглеждането на изследвания район е надлъжната зоналност, обоснована по структурно-геоморфоложки признаци от Пърличев и Попов (1974). В настоящия анализ заляга поделянето на шелфа на три основни зони: прибрежна, централна и външна (периферна), ограничена до континенталния склон (Пърличев и Петров, 1974; Димитров, 1978; Крыстев и др., 1984; Крыстев и Михова, 1990; Кръстев, 1993; Кръстев и Станкова, 2011).

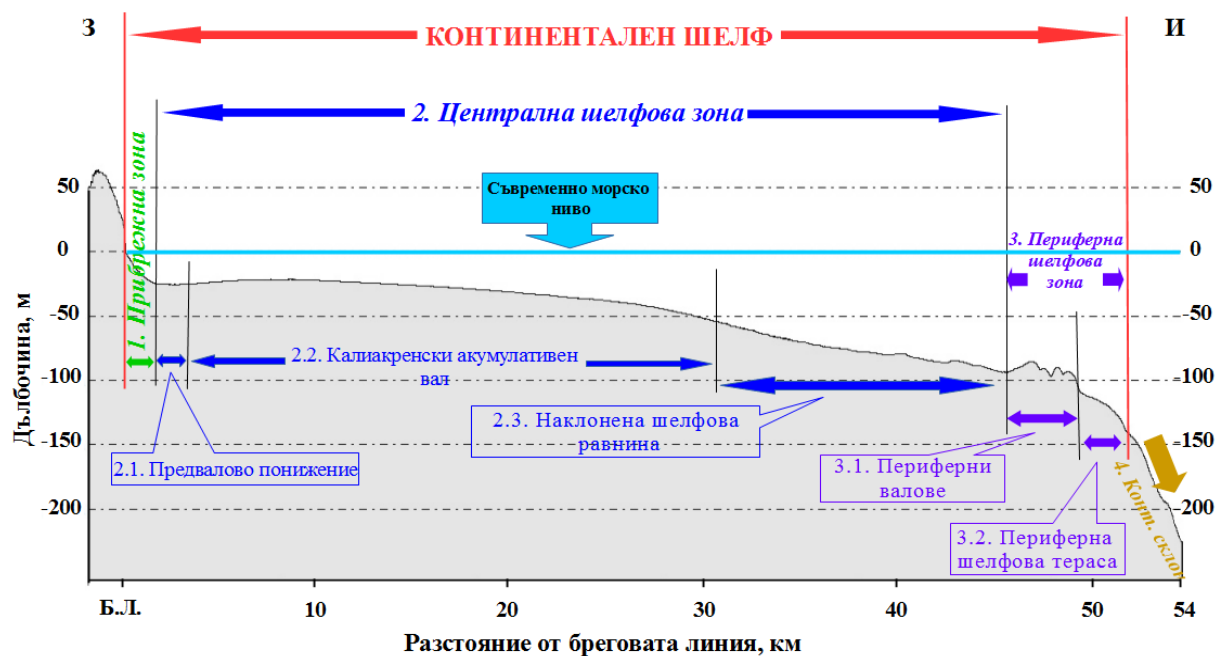
За изясняване на съвременните геоморфоложки условия на континенталния шелф е използван цифров модел на релефа на дъното. Високата резолюция на модела предлага възможност за детайлизиране и актуализиране на геопространствените и морфометрични характеристики, описващи морфоложките форми на релефа. Проследени са микро формите му в прибрежната зона, фиксирани са границите на Калиакренския акумулативен вал по морфометрични характеристики. В едър мащаб са оконтурени и анализирани валовите образувания в периферната част на шелфа (неизследвани едро мащабно и пространствено характеризирани към момента).

След ГИС-базиран анализ върху морфометричните показатели от ЦМРД, съпоставени с някои общо възприети схващания относно геоморфоложкото зонироване на Българския континенталния шелф (Пърличев и Марков, 1971, 1972; Пърличев и Петров, 1974; Пърличев, 1976; Димитров, 1979;

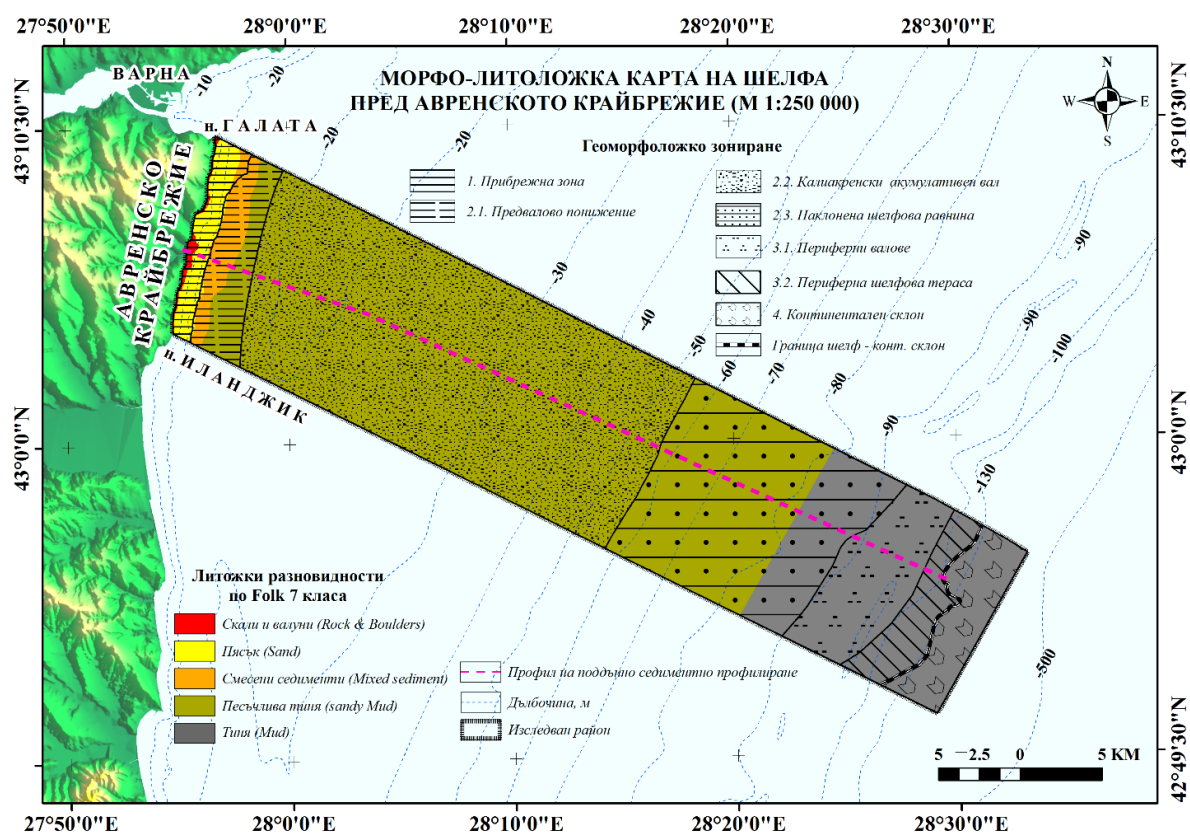
Геология..., 1979; Геолого-геофизическое..., 1980; Кръстев, 1986; Крыстев и Михова, 1990; Геологическая..., 1990; Кръстев, 1993; Керемедчиев, 2001, 2002, 2004; Геоморфодинамичен анализ..., 2003; Димитров, 2003; Кръстев и Станкова, 2011; Пейчев и Димитров, 2012б; Димитров и кол., 2013), в изследвания район е предложено зонироване, представено на Фиг. IV.1, Фиг. IV.2 и Табл. IV.1. За коректност при обособяване на четиричленната подялба на континенталната крайнина и принципната граница между континенталния шелф и склон (Крыстев и Михова, 1990; Крыстев и др., 1990; Кръстев, 1993), в допълнение към изследвания район е добавен релефа след 130-метровата изобата до дълбочини 1000 м (Табл. IV.1).

Таблица IV.1. Геоморфоложко зонироване на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие (Паша дере-континентален склон), по морфометрични характеристики

Морфоложка зона	Дълбочина, м		Ширина, м	Осреднен наклон, °
	от	до		
Континентален шелф	0	130	≈ 52 000	0.23
1. Прибрежна зона	0	23	≈ 1 900	0.97
2. Централна шелфова зона	23	93	≈ 45 000	0.09
2.1. Предвалоово понижение	23	23	≈ 2 900	0.07/-0.04
2.2. Калиакренски акумулативен вал	23	56	≈ 27 300	-0.05/0.09
2.3. Наклонена шелфова равнина	60	93	≈ 12 600	0.14
3. Периферна шелфова тераса	93	130	≈ 5 400	–
3.1. Периферни валове	93	107	≈ 3 400	–
3.2. Периферна шелфова тераса	107	130	≈ 2 000	0.51
4. Континентален склон	130	1000	≈ 20 000	2.92



Фигура IV.1. Схематичен геоморфоложки разрез на района между плаж Паша дере и континенталния склон по данни от цифровия модел на дъното



Фигура IV.2. Морфо-литоложка карта на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие в М 1:250 000

Предложеното геоморфолошко зонироване на шелфа пред Авренското крайбрежие е на базата на цифров модел на дъното с хоризонтална резолюция от 5 м. По морфометрични параметри, с голяма пространствена и вертикална точност са отделени шест морфоложки форми на релефа – прибрежна зона, предвально понижение, Калиакренски акумулативен вал, наклонена шелфова равнина, зона на периферни валове и периферна шелфова тераса. На 130 м дълбочина е фиксирана границата шелф – континентален склон (*Фиг. IV.1; Табл. IV.1; Фиг. IV.2*).

Построена е *Морфо-литоложка карта на шелфа в М 1:250 000*, с геоморфолошко зонироване и класифициране на седимента в система Folk 7 (*Фиг. IV.2*). По данни от седиментно профилиране са отделени дебелините на повърхностните отложения и е описан предполагаемия им литостратиграфски строеж.

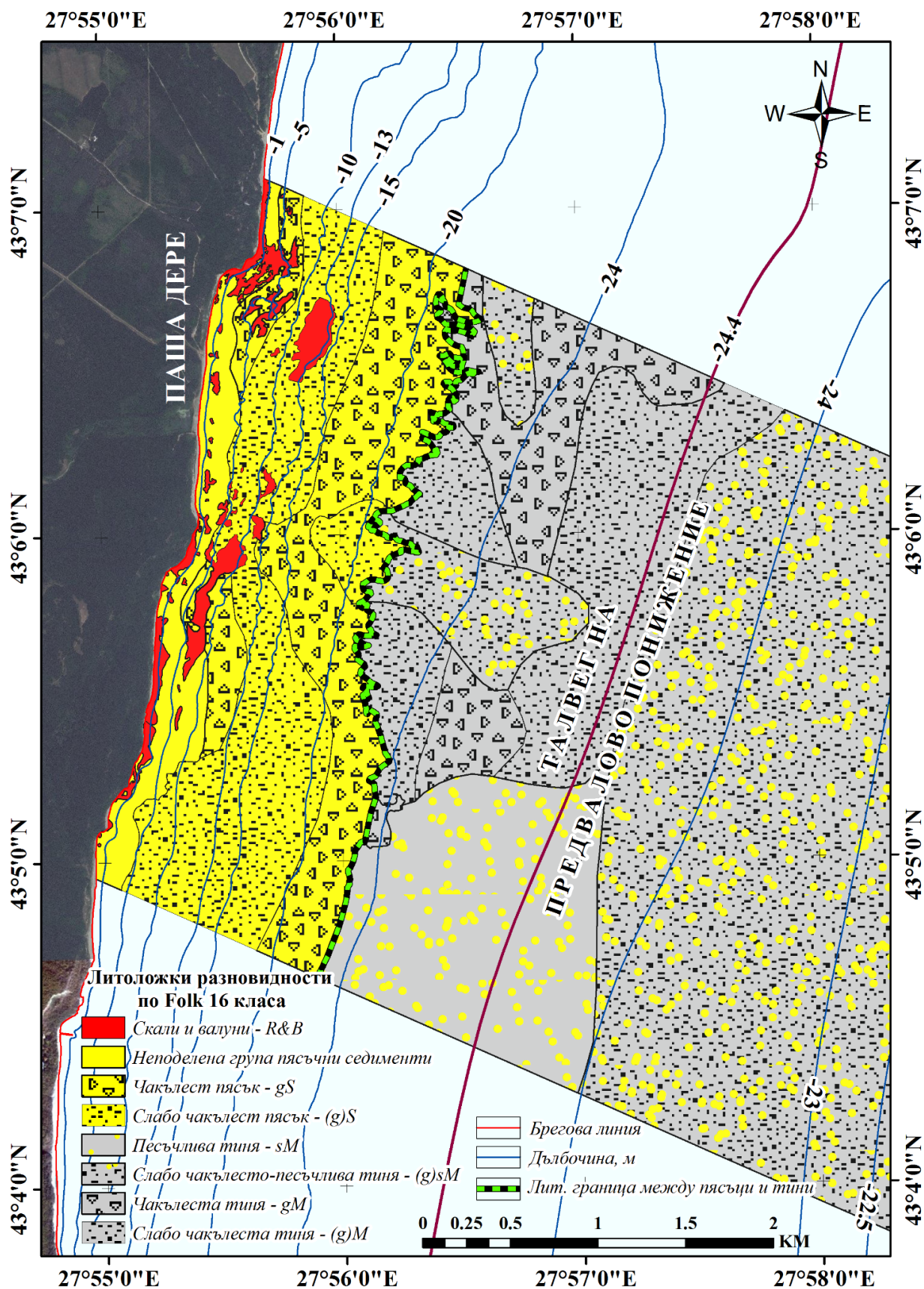
Литоложкият облик на крайбрежната зона е представен в три картни листа в мащаб 1:25 000. Според използваната класификационна система БДС 676 (1985), са картографирани скалните образувания, пясъчните отложения, пясъчливите тини и тините. Скалите са поделени на постоянно и непостоянно разкрити.

IV.2. Литоложка основа при картиране на дънни местообитания

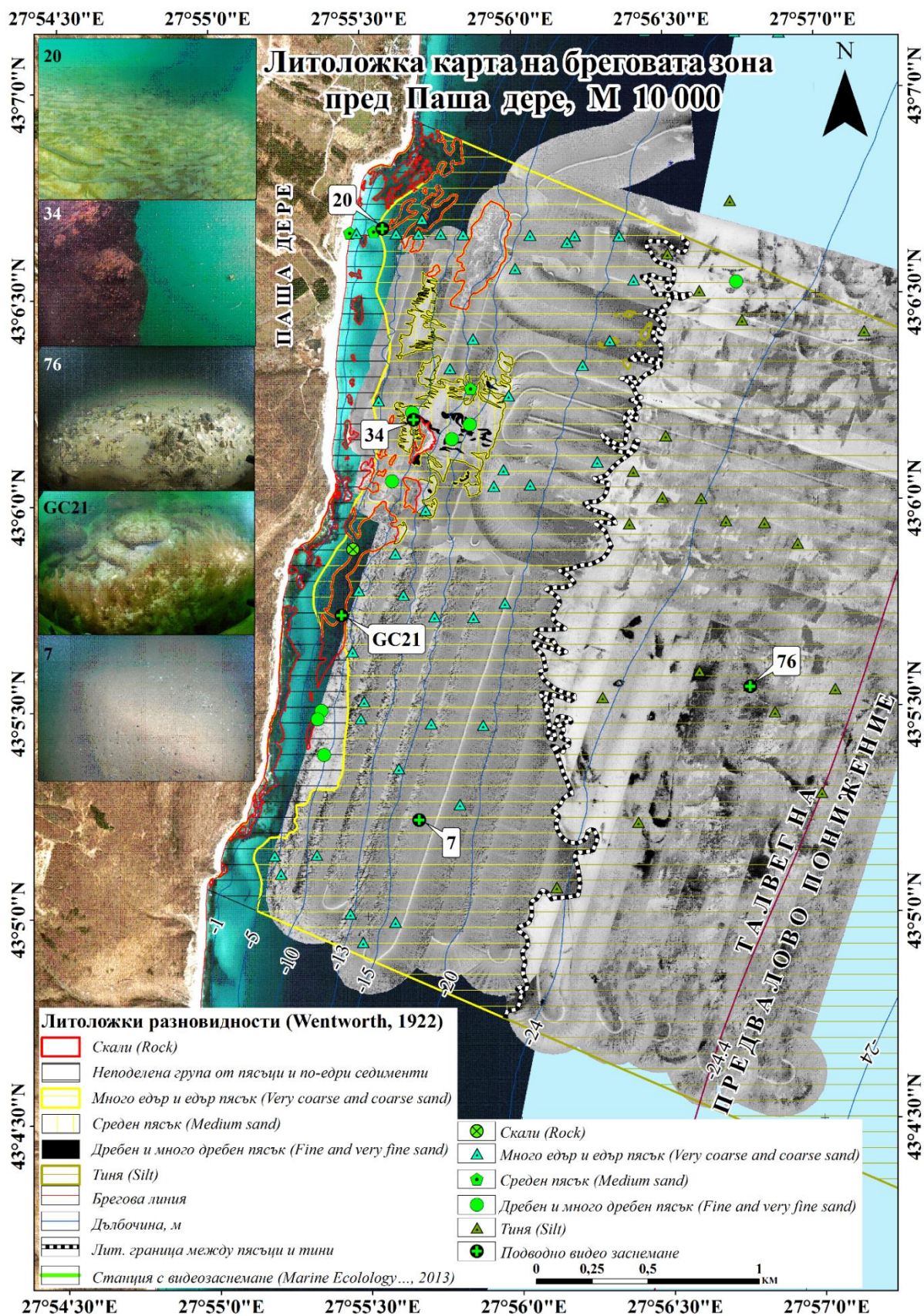
В раздела е представена литоложката основа при картиране на физически местообитания. Съсредоточаването на богат фактически материал от Фонд на ИО-БАН и съвременни изследвания от последните три години, предопределят избора на акваторията пред Паша дере за детайлно литолошко картиране, като основа за идентифициране на дънни местообитания.

Изготвени са едро мащабни карти и едно приложение в мащаб 1:10 000 на седимента в две широко използвани класификационни системи *Folk 16 класа* и *Wentworth size class scheme* (*Фиг. IV.9; Фиг. IV.10*). Фиксирана е дефинитивната граница между пясъчните и тинести отложения между 21-та и 23-та изобата (*Фиг. IV.9; Фиг. IV.10*). Проследена е сортираността в крайбрежната зона, като са установени зависимости между нея, типа брегови ландшафт и релефа на подводния брегови склон. Най-добра сортираност се наблюдава в непосредствена близост до скалните образувания, като общата тенденция е влошаването ѝ при увеличаване на дълбочината (*Фиг. IV.11*).

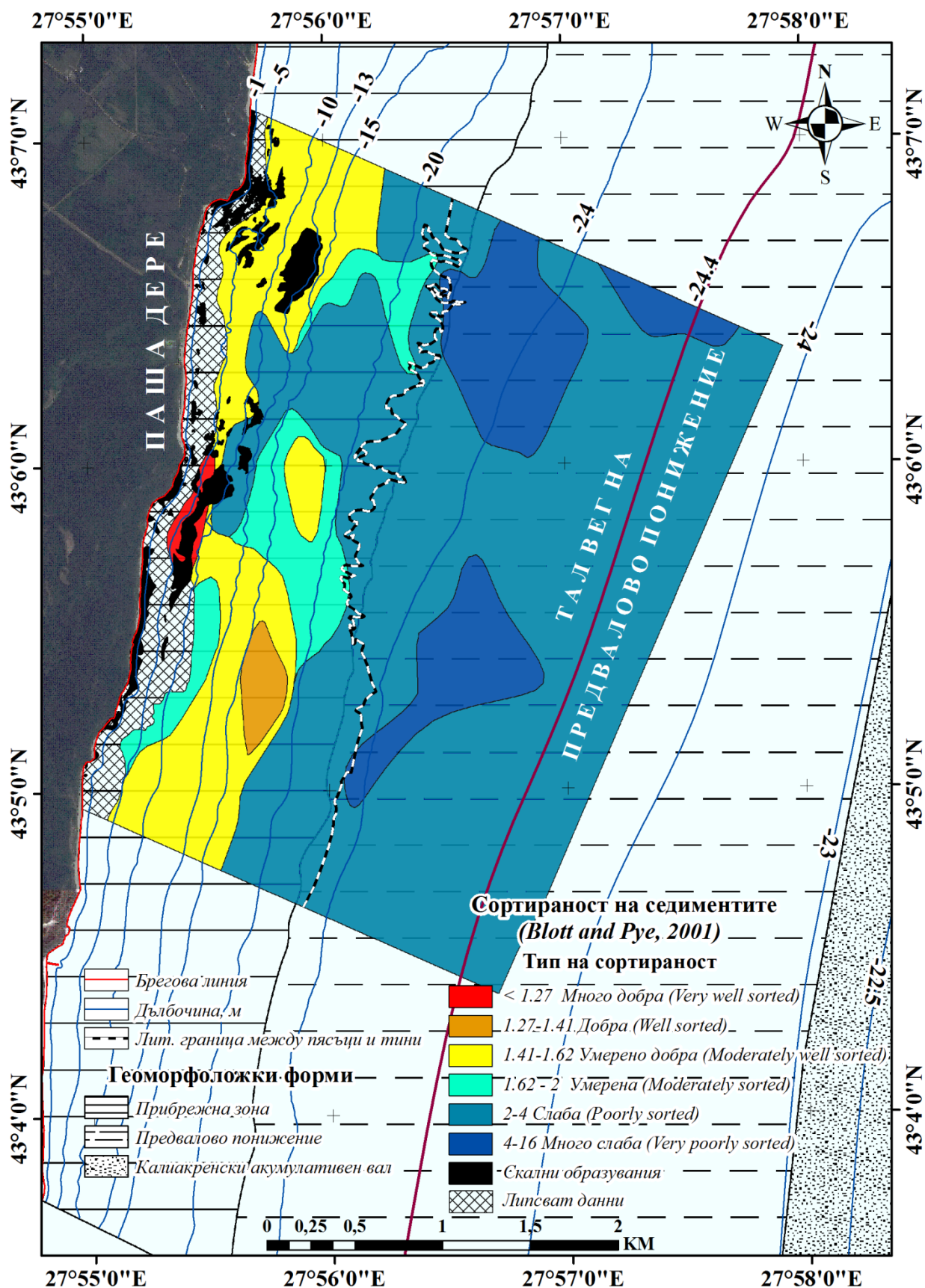
В заключение е проведена верификация на субстрата с 71 на брой изображения от подводно видеозаснемане. Установено е 100% съвпадение, потвърждавайки високата точност при работа с многолъчеви сонарни системи и класифицирането на седимента в настоящото изследване (*Фиг. IV.10*).



Фигура IV.9. Карта на литоложките разновидности по Folk 16 класа пред Паша дере в мащаб 1:25 000



Фигура IV.10. Литоложка карта на бреговата зона пред Паша дере в мащаб 1:10 000



Фигура IV.11. Карта на сортираността на седимента в бреговата зона пред Паша дере

В заключение от представения комплект карти (*Фиг. IV.9; Фиг. IV.10; Фиг. IV.11*), може да се направят следните изводи за литоложката картина пред Паша дере:

- Наблюдават се два типа скални комплекси. Бреговият се простира непосредствено от абразионния тип бряг в дълбочина до 5 м. Вторият (дълбоководен) се разкрива между изобати 5 и 14 м, следвайки успоредно направлението на бреговата линия;
- Картите на дънния субстрат и по двете класификационни системи на *Wentworth size class scheme* и *Folk 16 класа*, ясно дефинират различните литоложки разновидности, като границата между песъчливите и тинести отложения се фиксира между 21-та и 24-та изобата;
- Предваловото понижение представлява форма с негативен характер от изцяло слабо сортирани (*Poorly sorted*) тинести материали;
- Картирането на седимента в бреговата зона с многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар дава съвпадение при верифициране с данни от видеозаснемане, като комбинацията от интердисциплинарни методи е необходимо условие за достоверност при едро мащабни проучвания.

Съставените морфоложки и литоложки карти, верифицирани с подводно видеозаснемане, е началния (геоложки ориентиран) етап в картирането на подводни местообитания. Те дават база за последващо извеждане на физически (подводни) местообитания, при наличие на данни за други физико-химични параметри (вълнение, светлина и температура), които са функция на разпространението на биологичните съобщества.

ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Получените резултати от картирането на геоложката основа в континенталния шелф пред Авренското крайбрежие, между н. Галата и н. Иланджик, позволяват да се направят следните по-важни заключения:

1. Анализът на изследванията за геолого-тектонския и литостратиграфски строеж и геоморфоложката характеристика на континенталния шелф в Българския Черноморски сектор, проведени до края на XX век, установи регионален характер на изследвания, подходящ за обща характеристика с възможност за дребно мащабно картиране;
2. Развитието на технологиите за проучване на морското дъно в началото на XXI век, позволи чрез интегриране на иновативни дистанционни и геоложки методи много по-точно и детайлно геопространствено дефиниране на проследените геоморфоложки форми;
3. Установени са несъвпадения на граничните размерни стойности на неконсолидираните морски седименти между БДС 676 (1985) и световно възприети класификационни системи *Udden (1994)*, *Wentworth (1922)*, *Folk (1954, 1974)*, *Friedman & Sanders (1978)*, *Blott & Pye (2001)*. За коректност при категоризирането на седимента е извършено унифициране на всички геоложки станции, като са приведени към горепосочените класификационни системи;
4. Анализът на седимента в континенталния шелф установи наличието на скали и валуни (*Rock & Boulders*), пясък (*Sand*), смесени седименти (*Mixed sediment*), песъчлива тиня (*sandy Mud*) и тиня (*Silt*). Границата между седимента с преобладаваща песъчлива и тинеста фракция се фиксира между 21-та и 24-та изобати, като след дълбочина 82 м песъчливата компонента напълно отсъства;
5. За разпространението на седиментите на континенталния шелф е установена тенденция за намаляване в дълбочина на $D_{50_{cp}}$ от 721 μm до 44.42 μm и влошаване на сортираността от добра (1.24) до много слаба (13.5).

П Р И Н О С И

1. Световно възприетата методология за картиране на геоложката основа е адаптирана и приложена за идентификация на подводни физически местообитания на Българския континентален шелф пред Авренското крайбрежие, с използването на фондови материали и новополучени данни от иновативни изследвания;
2. За първи път за континенталния шелф пред Авренското крайбрежие между н. Галата и н. Иланджик са генерирани цифрови модели на релефа на дъното с висока хоризонтална резолюция: 20 м за шелфа и 5 м за прибрежната зона. От извлечените батиметрични контури са построени високо точни батиметрични карти на континенталния шелф, прибрежната и периферна шелфова тераса;
3. За първи път е направено геоморфоложко зонироване на континенталния шелф пред Авренското крайбрежие въз основа на данни от многолъчеви сонарни изследвания. С висока точност, геопространствено са конкретизирани границите на всички геоморфоложки форми и са определени съвременните морфоложки и литоложки условия;
4. По данни от седиментно профилиране са отделени дебелините на повърхностните отложения и е описан предполагаемия им литостратиграфски строеж;
5. Чрез анализ на наклоните на генерираните цифрови модели на релефа на дъното с висока точност е определена и картографирана морфоструктурната граница шелф - континентален склон пред Авренското крайбрежие;
6. За картиране на дънните седиментни разновидности по физически характеристики са създадени сонарни мозайки с резолюция от 0.5 м, въз основа на които е построена първа *Карта на разновидностите по физически характеристики*. За първи път векторно са оконтурени зони с различна отражателна способност на дъното;

7. На основа сравнителен анализ на класификационните системи за морски отложения: *Udden (1994), Wentworth (1922), Folk (1954, 1974), Friedman & Sanders (1978), Blott & Pye (2001), БДС 676 (1985) и Трифонова и кол., (2013)*, е установено разминаване на граничните стойности при размера на неконсолидирания седимент, което наложи унифициране на 183 седиментоложки анализирани проби, като основа за верификация на седимента;
8. Изготвени са едро мащабни карти (1:25 000 и 1:10 000) на литоложките разновидности в крайбрежната зона пред Авренското крайбрежие и Паша дере в три различни класификационни системи (*Wentworth, 1922; БДС 676, 1985; Folk, 1954, 1974*);
9. Изготвена е карта на сортираността на дънния седимент пред Паша дере в мащаб (1:25 000), позволяваща при допълнителни хидродинамични изследвания тълкуване на съвременните литодинамични процеси в крайбрежната зона пред Паша дере.

БЪДЕЩИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

- 1.** Продължаване на изследванията на геоложката основа чрез иновативни методи на картиране на морското дъно. Следване на тенденцията в световен мащаб за интегриране на системи с висока резолюция на изходните данни;
- 2.** Прилагане и доразвиване на настоящата методика за картиране на геоложката основа при идентификация на дънни местообитания върху неизследвани към момента райони от Българския сектор на Черно море;
- 3.** Изясняване на геоморфоложките условия в Българския континентален шелф, посредством иновативни методи на картиране. Основна задача е геопространственото конкретизиране на формите на релефа в Българския Черноморски сектор;
- 4.** Създаване на интегрална гео-база данни, в която да се систематизират архивните фондови материални, надграждани със съвременни данни от дистанционни, геоложки и седиментоложки изследвания.

Благодарности

Авторът изказва своите искрени благодарности на научния си ръководител *доц. д-р инж. Любомир Димитров* за вниманието, съветите, насоките, предадения опит, подкрепата през годините на разработване на дисертационния труд.

Огромни благодарности на *Христина Ангелова* за прекрасното отношение, предоставените материали и възможност за участие в дейности към *Центъра за подводна археология*, гр. Созопол.

Изказвам искрена признателност на *гл. ас. д-р Наталия Андреева* за насоките и съветите при стилистиката и оформянето на дисертационния труд.

Специални благодарности на колегите от секции „Динамика на бреговата зона“ за възможността да работя по проекти и задачи, постоянната подкрепа и съвети при изготвянето на дисертацията и публикациите към нея.

Благодаря на преподавателите си от катедра „Приложна геофизика“ в *Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“* и колегите си от секция „Сеизмология“ към *НИГГГ-БАН*, гр. София за знанията и професионалния опит, които придобих през годините на следване и работа.

Не на последно място искам да изкажа благодарност на предходното и настоящото ръководство в лицето на *проф. д-р Атанас Палазов* и *проф. дн инж. Веселин Пейчев* за възможността да съм част от екипа на *Института по океанология-БАН*.

Литература в автореферата

1. БДС676. 1985. Почви, строителна класификация, Държавен комитет за наука и технически прогрес, С, с. 22;
2. Велчев, Цв., 1971. Некоторые черты геологического строения черноморского шельфа Народной республики Болгарии. В *Acta Geol. Akad. Scion. Hung.*, том 15 с. 365-368;
3. Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. 1990. БАН, С., Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 666;
4. Геология и гидрология западной части Черного моря. 1979. С., БАН, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 291;
5. Геолого - геофизические исследования Болгарского сектора Черного моря. 1980. С., БАН, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 318;
6. Глумов, В., 1971. Геологическое строение Черноморского шельфа НР Болгарии. В *Доклади на БАН*, том 2, с. 255-258;
7. Головинский И., И. Глумов, Дачев, Х., 1975. Перспективы нефтегазоносности шельфа Народной Республики Болгарии. В *Геология нефти и газа*, 10, с. 33-35;
8. Головинский, И., Глумов, И., 1976. Геологическое строение Черноморского шельфа. В *Комплексные иссл. Черноморской впадины*, М., Наука, с. 33-35;
9. Головинский, В., Дачев, Х., Жгенти, А., Креснощек, А., Мараев, Л., 1977. Основные черты геологического строения доюрского структурного плана северной части черноморского шельфа Народной Республики Болгарии по геофизическим данным. В *Болг. Геоф. Списание*. III, I, с. 68-75;
10. Гончаров, В., Непрочнов, Ю., Непрочнова, А., 1972. Рельеф дна и глубинное строение Черноморской впадины, с. 160;
11. Димитров, П., 1978. Нови данни за строежа и възрастта на някои морфоложки форми на Българския черноморски шелф. В *Проблеми на географията*, том 2, с. 42-49;
12. Керемедчиев, Ст., 2004. Геоморфоложки анализ на бреговата зона на Авренското крайбрежие. В *Проблеми на географията*, 3-4, БАН, С., с. 126-134;
13. Керемедчиев, Ст., Пейчев, В., 2001. Съвременна геоморфодинамична активност и устойчивост на бреговия склон между н. Галата и Сакъма дере. В *Изв. на Съюза на учените*, гр. Варна, кн. I и II (2000/2001), с. 67-71;
14. Кожухаров, Е., Димитров, Л., Христова, Р., Дончева, В., 2010. Обяснителна записка към геоложка карта на българския сектор от акваторията на Черно море в мащаб 1 : 500 000, МОСВ;
15. Коцев, И., 2014. Структура, динамика и райониране на ландшафтите в Черноморската крайбрежна зона между нос Калиакра и нос Емине. Дисертация за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 303;
16. Коцев, И., Керемедчиев, Ст. 2012. Съвременна ландшафтна структура на подводния брегови склон пред плаж Паша дере (Авренска брегова зона, Българско Черноморско крайбрежие). В *Научни трудове на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“*, 30, ISSN 1312-0867, с. 103-106;

17. **Кръстев, Т., 1993.** Структурно-геоморфолошко развитие на континенталната окрайнина на Българския сектор на Черно море, Автореферат на дисертация за д-р на географските науки, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 64;
18. **Кръстев, Т., Станкова, С., 2011.** Природна география на България и Черно море, Университетско издателство „Епископ К. Преславски“, Шумен, с. 240, ISBN 9789545774140;
19. **Крыстев, Т., Волокитина, Л., Пырличев, Д., Мирлин, Ев., 1984.** Структурно-геоморфологическое строение дна. В *Нефтегазо - генетические исследования Болгарского сектора Черного моря*, Болгарской академии наук, София, с. 46-54;
20. **Крыстев, Т., Лимонов, А., Маев, Е., Лохин, М., 1990.** Строение новейших отложений северной части Болгорского черноморского шельфа. В *Крыстев, Т. (ред.). Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время*, БАН, София, с. 255-274;
21. **Крыстев, Т., Михова, Е., 1990.** Релеф и тектоника на българския шелф. В *Крыстев, Т. (ред.). Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время*, БАН, София, с. 392-431;
22. **Куприн, И., Сорокин, В., Димитров, П., 1980.** Основы расчленения и типы разрезов позднечетвертичных осадков континентальной террасы. В *Геолого-геофизические исследования болгарского сектора Черного моря*. С., БАН, с. 188-202;
23. **Лилиенберг, А. 1966.** Опит за морфолошко райониране и типове бряг на Българското Черноморско крайбрежие. В *Изв. Бълг. Геогр. Д-во.*, XI (XVI), с. 23-45;
24. **Лилиенберг, А. 1970.** Основные черты геоморфологии и палеогеографии югозападного побережья Черного моря. Комплексные исследования Черноморской впадины. В *сп. Наука*, с. 82-114;
25. **Лилиенберг, Д., Мишев, К., Попов, В., 1964.** Новые данные о черноморских террасах Страндженского побережья Болгарии. В *Докл. АН СССР*, 159, с.943-967;
26. **Михова, Е., 1989.** Ландшафтни изследвания на българския шелф от н. Калиакра до н.Галата. В *Проблеми на географията*, том 4, с. 18-25;
27. **Мишев, К., Попов, В., Лилиенберг, Д., 1971.** Геоморфология и палеогеография четвъртичного периода старо-планинското побережье Черного моря. В *Проблеми на палеогеоморфоложкото развитие на България*. (С), т. 1, с. 56-67;
28. **Нефте-газогенетические исследования Болгарского сектора Черного моря.** С., БАН, 1984, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 288;
29. **Отчетен доклад, 1978.** Изследване геоморфоложкия строеж, литодинамиката и четвъртичните отложения на бреговата и шелфова зона на Българското Черноморие от н. Калиакра до н. Емине. Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен“-БАН, гр. Варна, с. 570;
30. **Пейчев, В., Димитров, Д., 2012.** Океанология, Изд. Онгъл, Варна, с. 490;
31. **Попов, Вл., Мишев, К., 1974.** Геоморфология на Българското Черноморско крайбрежие и шелф, Изд. на Българска Академия на Науките, София, с. 267;
32. **Проданов, Б., Димитров, Л., 2015.** Приложение на многолъчеви сонарни системи в геоложкото картиране на дънните седименти в крайбрежната зона пред плаж Паша дере, Северно Българско Черноморие. В *Годишник на*

Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, ISSN 1312-1820, с. 67-72;

33. **Проданов, Б., Димитров, Л., 2015а.** Морфо-литоложка характеристика на шелфа пред Авренското крайбрежие. В *Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“*, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, ISSN 1312-1820, с. 73-78;
34. **Пърличев, Д., Марков, Хр., 1971.** Депресия на дъното край българския бряг на Черно море. В *Природа*, № 4, с. 31-35;
35. **Пърличев, Д., Марков, Хр., 1972.** Релефът на дъното пред българския черноморски бряг. В *Природа*, №3. с. 28-32;
36. **Пърличев, Д., Петров, П., 1974.** Опит за геоморфолошко райониране на Българския черноморски шелф. В *Проблеми на географията в България*, т. IV, с. 69-80;
37. **Сорокин, М., 1984.** Состав и условия формирования позднечетвертичных осадков западной части Черного моря. В *Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей*. Част.1, Киев, Наукова думка, с. 89-96;
38. **Сорокин, М., Димитров, П., Лушка, В., 1980.** Типы позднечетвертичных осадков на континентальной террасе. В *Геолого-геофизические исследования болгарского сектора Черного моря*. С, БАН, 1980 , с. 230-237;
39. **Станчев, Хр., Щирков, Ил., Панайотов, В., Веков, Я., Димитров, Л., Дончева, В., Борисова, Е., Проданов, Б., Апостолов, А., Янев, О., Петров, П., 2013.** Оценка и интерпретация на резултатите от проведения мониторинг на хидроморфологичните параметри/1.1. Батиметрия. В *Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ). Договор № 0-33-18/12.06.2013*, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен”- БАН, гр. Варна, с. 6-41;
40. **Трифенова, Е., Керемедчиев, Ст., Коцев, И., Златева, П., Кирилова, Д., Стаматова, Хр., Теохаров, О., Христова, О., Апостолов, А., Джурова, Б., Томова, З., Атанасов, А., Щирков, И., Панайотов, В., Веков, Я., Дечев, Д., Мачев, А., Сираков, Цв., 2013.** Оценка и интерпретация на резултатите от проведения мониторинг на хидроморфологичните параметри / 1.2. Седименти. В *Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ).Договор № 0-33-18/12.06.2013*, Научен фонд на Институт по Океанология „Фритьоф Нансен”- БАН, гр. Варна, с. 43-76;
41. **Федоров, П., 1963.** Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря. В *Тр. Геол. ин-та*, вып. 88, с. 159;
42. **Христова, Р., 2015.** Българският черноморски шелф и крайбрежие през кватернера - геоложка еволюция и климатични промени. Унив. Изд. „Ав. Климент Охридски", С., ISBN 978-954-07-4006-5, с. 126;
43. **Чочов, Д., 1984.** Роль поверхностных течений в процессах осадкообразования на болгарском черноморском шельфе. В *Изучение геологической истории и процессов современного осадкообразования Черного и Балтийского морей*. Киев, Част 2, Наукова думка, с. 92-99;
44. **Blott, S.J., Pye, K., 2001.** Technical communication: GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. In *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp.1237-1248;
45. **Dimitrov, L., Kojuharov, E., Tassev, V., Hristova, R., Vasilev, A., Shtirkov, I., Doichev, L., Sirakov, Ts., Teoharov, O., Apostolov, O., Kutsarov, E., 2007.**

- Site Survey Report on proposed drilling location, Institut of oceanology, Varna, Bulgaria, p. 16;
46. **Folk, R., 1954.** The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. In *Journal of Geology*, 62, pp. 344-359;
 47. **Folk, R., 1974.** Petrology of sedimentary rocks, Austin, Tex., Hemphill Publishing Co., p. 182;
 48. **Friedman, G., Sanders, J., 1978.** Principles of Sedimentology, Wiley, New York, p. 792;
 49. *Geotechnical works at shelf and abyssal area of Anapa - Varna (with DP)*, 2011. In *Engineering-geological survey (South Stream Gas Pipeline Project Survey)*, p. 238 (достъпен на <http://www.south-stream-offshore.com>);
 50. **Hristova, R., 2015.** Lithostratigraphic and spatial relationship of the Upper Quaternary sediments on the boundary shelf-continental slope in the Bulgarian sector of the Black Sea. In *Compt. rend. Acad. bulg. Sci.*, 68, №3, pp. 351-358;
 51. **Khrishev, Kh., Shopov, V., 1978.** Quaternary stratigraphy of the outer South Bulgarian Black Sea shelf. In *Geologies Balcanica*, 8, 1978, № 2, pp. 21-40;
 52. *Marine ecology*, 2013. In *South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report*, p. 203 (достъпен на <http://www.south-stream-offshore.com>);
 53. *Marine Seabed Habitat Baseline Study*, July 2013. In *South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment*, p. 47 (достъпен на <http://www.south-stream-offshore.com>);
 54. **Prodanov, B., Kotsev, I., Keremedchiev, St., Todorova, V., Dimitrov, L., 2013.** Initial assessment of the technogenic pressure in the mediolittoral zone of the Bulgarian Black Sea coast. In *Proceedings of the Second European SCGIS conference „Conservation of Natural and Cultural Heritage for Sustainable Development: GIS-based Approach“*, September 24th, Sofia, Bulgaria, pp. 4-13 (available at <http://proc.scgis.scgisbg.org/index2014.html>);
 55. **Todorova, V., Dimitrov, L., Doncheva, V., Trifonova, E., Prodanov, B., 2015.** Benthic Habitat Mapping in the Bulgarian Black Sea. In *Proceedings of 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 2015)*, volume 1, Varna, 97-605-85652-4-1, pp. 251-262;
 56. **Udden, J., 1914.** Mechanical composition of clastic sediments. In *Bulletin of the Geological Society of America* 25, pp. 655-744;
 57. **Wentworth, C., 1922.** A scale of grade and class terms for clastic sediments. In *Journal of Geology* 30, pp.377-392.

Приложение № 1

Публикации на кандидата по темата на дисертацията

- Kotsev, I., **Prodanov, B.**, Dimitrov, L., 2014. Marine Landscape Studies – what is the State of the Science? Emergence, Definition of Core Ideas and Scientific Development from the Late XIX Century until the Late XX Century. In *Proc. 12th Int. Conference on Marine Science and Technology "Black Sea" 2014*, Varna, pp. 259-264., ISSN 1314-0957.
- Проданов, Б.**, Димитров, Л., 2015. Морфо-литоложка характеристика на шелфа пред Авренското крайбрежие. В *Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“*, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, стр. 73-78, ISSN 1312-1820.
- Проданов, Б.**, Димитров, Л., 2015. Приложение на многолъчеви сонарни системи в геоложкото картиране на дънните седименти в крайбрежната зона пред плаж Паша дере, Северно Българско Черноморие. В *Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“*, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, стр. 67-72, ISSN 1312-1820.

Приложение № 2

Участията в научни форуми на автора във връзка с дисертацията за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“

- Конференция:** 12-та Международна конференция по морски науки и технологии, Научно-технически съюзи (гр. Варна), септември 2014 г, ФКЦ, гр. Варна.
- Конференция:** Международна научна конференция на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, 20-23 октомври 2015, МГУ, гр. София.

Seabed mapping of Bulgarian continental shelf in front of Avren plateau coastal area for habitat classification

S U M M A R Y

Present thesis studies the geological bedrock of Bulgarian continental shelf in front of Avren plateau for seabed habitat mapping. It is achieved by integration of data from bathymetric, geological and sedimentological surveys. The thesis consists of four chapters, 58 figures, 17 tables and one annex.

The thesis begins with a broad overview of geotectonic settings of Western Black Sea and continues with tectonics, geomorphological zoning and lithostratigraphy of Bulgarian continental shelf in particular. Analysis of available archive data from Institute of Oceanology „Fridtjov Nansen” (IO-BAS) and data from contemporary shelf explorations allowed selection of the study area: the continental shelf in front of Avren coast located between cape Galata and cape Ilandzhik.

The second chapter introduces the main research methods and methodology of the study. In addition, a review of bathymetric, geological and sedimentological surveys conducted in the study area is presented. The chapter offers description of field activities, survey sampling methods and „raw” data types relevant for study purposes and study area.

Chapter three presents details of the 5 stage methodology developed in the thesis to examine the geological bedrock of the continental shelf for the purposes of seabed habitat mapping. Raw data post-processing, which includes generation of high resolution seabed digital terrain models (DTM) and sonar mosaics is described. The DTM allowed extraction of bathymetric contours at every 0.5m for high accuracy bathymetric maps of the continental shelf under study. The sonar mosaics, which represents the intensity of bottom sediments reflectivity were used to identify and outline bottom physical varieties. The lithology of these varieties was determined by means of verification with sedimentological data.

Initially available data about seabed substrata were classified by *Wentworth size class scheme (1922)*, *Folk 16 classes (1954, 1974)*, *Blott & Pye (2001)* and *BDS676 (1985)* sediment grain size classifications, which enforced a comparison

analysis. Discrepancies in grain size classes were established, which led to unification of the sediment data in the above mentioned classifications.

Chapter four shows results from geomorphological zoning of the continental shelf in front of Avren plateau based on morphometric parameters extracted from the DTM and sub-bottom cross-shore profiles. Results are presented as morpho-lithological map, which gives detailed characterization of the shelf, especially of the coastal zone in relation to its active hydrodynamic conditions. Lithologically outlined and characterized are: the coastal zone under active wave action; the zone of visible wave action, determined by the presence of riffles and other sandy formations; the boundaries of the inner coastal depression and its thalweg. Kaliakra accumulation bank, shelf plain and peripheral shelf ledge are morpho-lithologically defined as well.

High density of available seabed sediment samples in the coastal zone in front of Pasha Dare beach, which is located within the study area allowed its detailed lithological mapping. For this purpose the sediments were classified by Folk 16 classes and Wentworth size class scheme and two large scale (1:10 000) maps were created. This mapping contributed to definition of the boundary between sandy and muddy sediments traced within 21st and 23rd isobaths. Furthermore, sediment sorting maps were generated, which revealed interdependency between sorting, landscape types and seabed relief. Very well sorted sediments were localized around rock formations, while with depth increase very poor sorting was exhibited.

In conclusion sediments were additionally verified by underwater remote video images showing complete coincidence with classified seabed substrata.

ас. инж. Богдан Кирилов Проданов
**ГЕОЛОЖКА ОСНОВА ПРИ КАРТИРАНЕ НА ДЪННИ
МЕСТООБИТАНИЯ В БЪЛГАРСКИЯ КОНТИНЕНТАЛЕН ШЕЛФ
ПРЕД АВРЕНСКОТО КРАЙБРЕЖИЕ
А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**