

## МОРФО-ЛИТОЛОЖКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ШЕЛФА ПРЕД АВРЕНСКОТО КРАЙБРЕЖИЕ

**Богдан Проданов, Любомир Димитров**

*Институт по океанология "Фритъоф Нансен", БАН, 9000 Варна, E-mail bprodanov@io-bas.bg, geos@io-bas.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Развитие на технологиите за проучване на океанското дъно дава възможност за по-детайлно зонироване на Българския континентален шелф. В морфоложки аспект шелфът е изучаван интензивно преди 1990 г. съвместно от български и съветски екипи. Тези изследвания са осъществявани основно за характеризирани на лито-морфоложките условия в регионален мащаб. Съчетаването на данни от съвременни изследвания с модерни технологии на шелфа и фактически материали от научния фонд на Института по океанология "Фритъоф Нансен" позволи актуализиране и детайлизиране на морфоложкото зонироване на шелфа пред Авренското крайбрежие. Използвани са данни от заснемане на дъното с многолъчева сонарна система (MCC) Seabat 7111 с 100% покритие на изследвания район. Това са батиметрични данни с високо разрешение за построяване на цифров модел на релефа на дъното и интензивност на отражателната способност от дънните седименти, обединени в сонарни мозайки за определяне на литоложките разновидности. Направена е верификация на полигоните с различна отражателна способност чрез опробване на дънните седименти в 141 станции, на които е направен стандартен седиментоложки анализ (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество). Данните от седиментоложките анализи са обработени с програмата GradiStat и са приведени в единна класификационна схема. Всички данни са обединени в база данни и са анализирани в среда на Географски информационни системи (ГИС). По цифровия модел на релефа на дъното е построена високоточна батиметрична карта с интервал между изобатите от 0,5 m, по която са определени границите на различните морфоложки зони на шелфа. По данните от отражателната способност и геоложкото опробване са определени границите на различните литоложки разновидности на дънните седименти по техните физически характеристики. Построената морфо-литоложката карта отразява съществено детайлизиране в характеризирането на шелфа, особено на крайбрежната зона във връзка с активния ѝ хидродинамичен характер. Очертани са и са литоложки охарактеризирани: прибрежната зона, подложена на активно вълново въздействие; зоната на забележимо въздействие на вълните върху дъното, определена по образуваните пясъчни вълни и форми на провлачване; очертани са границите на прибрежната депресия и нейния талвег; морфо-литоложки са дефинирани Калиакренският акумулативен вал, шелфовата равнина и периферната шелфова тераса.

**Ключови думи:** Черно море, континентален шелф, морфо-литолошко зонироване, многолъчева сонарна система, ГИС

## MORPHO-LITHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE SHELF IN FRONT OF AVREN COAST, BULGARIAN BLACK SEA

**Bogdan Prodanov, Lyubomir Dimitrov**

*Institute of oceanology "Fridtjov Nansen", BAS, 9000 Varna, E-mail bprodanov@io-bas.bg*

**ABSTRACT.** Development of technologies for ocean floor exploring allows more detailed zoning of Bulgarian Black sea margin. Before 1990, Bulgarian shelf was studied intensely by both Bulgarian and Soviet teams for characterization of morpho-lithological conditions on a regional scale. Combining the results of contemporary shelf explorations and archive materials from the Institute of Oceanology "Fridtjov Nansen" allows detailed update of seabed relief of the shelf in front of Avren coast with respect to morphological zonation. The contemporary data are from seabed survey conducted with SeaBat 7111 Multibeam Echosounder System (MBES) with 100% coverage of the study area. They represent bathymetric data used for construction of high resolution digital terrain model (DTM) and intensity of the reflectivity of bottom sediments in the form of sonar mosaics to determine lithological varieties. Polygons with different reflectivity are verified by bottom sediment sampling, collected in 141 stations, as the latter are analyzed with standard sedimentological analyses (granulometry, carbonate content and organic matter). The data from sedimentological analyses are processed with GradiStat program and are merged into a single classification system. All data are combined into a database and analyzed by Geographic Information Systems (GIS). From the seabed DTM a high accuracy bathymetric map with 0.5 m isobaths spacing is created as a basis for morphological zoning of the shelf. The boundaries of different lithological varieties are defined by reflectivity and geological sampling data. The morpho-lithological map presents 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 on visible wave action determined by the presence of riffles and other sandy formations; the boundaries of the inner coastal depression and its thalweg. Morpho - lithologically are defined the Kaliakra accumulation bank, shelf plain and peripheral shelf ledge.

**Key words:** Black Sea, continental shelf, morpho-lithological zoning, Multibeam Echosounder System, GIS

## Въведение

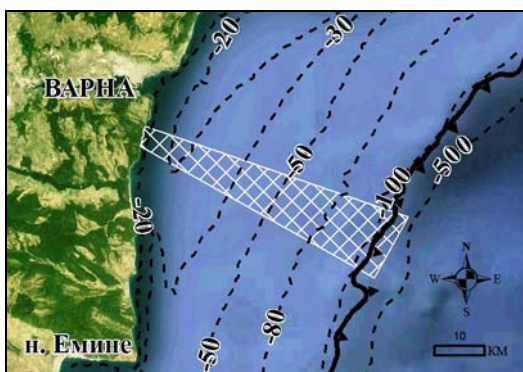
С развитието на технологиите за проучване на океанското дъно през последните години се дава възможност за все по-детайлно картиране и изучаване на Българския Черноморски шелф. Изследването му се явява първостепенна задача с влизането на Република България в Европейския съюз и обвързващите директиви, насочени

приоритетно в екологично отношение. Пионер в научните изследвания в акваторията на Българския сектор от Черно море е Институтът по океанология „Фритъоф Нансен“ (ИО), изучавал шелфа съвместно с руски научни екипи (Геология..., 1979; Геолого-геофизическите..., 1980; Нефтегазогенетическите..., 1984; Геологическая ..., 1990). Обобщението на фактическия материал от научния фонд на ИО е добра основа за първоначален анализ на морфо-литоложките условия на шелфа, които са актуализирани в

настоящото изследване с новополучени данни.

Използването на данни от Многолъчева сонарна система - МСС (Multibeam Echosounder SeaBat 7111) в настоящото изследване дава възможност за генериране на цифров модел на дъното (DTM - дигитален теренен модел), като основа на високоточна батиметрична карта, по която са уточнени границите на морфоложките зони на континенталния шелф. Въз основа на сонарни мозайки и стандартни седиментоложки анализи (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество) са определени литоложките граници между отделните разновидности.

Настоящата статията има за цел да представи съвременен анализ на морфо-литоложките условия в района между плаж Паша дере (южно от нос Галата) и границата на шелфа с континенталния склон, на основата на фактическия материал от научния фонд на ИО, допълнен с актуални експедиционни данни представени в ГИС-среда (фиг. 1).



Фиг. 1. Схема на местоположението на изследвания район.

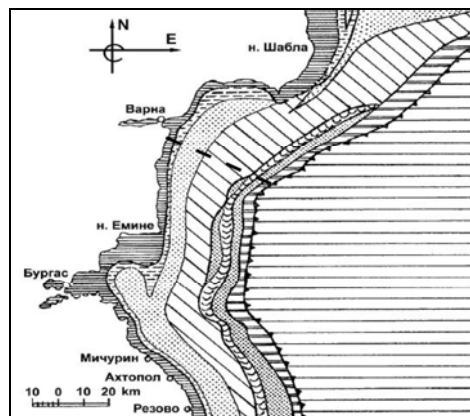
## Характеристика на района.

Географски, той се разполага на 7 km южно от нос Галата (Варненски залив), пред плаж Паша дере (фиг. 1) и е с дължината на бреговата линия (западна граница на района) от 4.4 km. Мористо, северната и южната граница са почти успоредни една на друга, с направление северозапад – югоизток и с дължина от около 52 km. Най-източната част на района е границата между шелфа и континенталния склон, като дълбочината и варира между 110 и 130 m. Изследваният участък обхваща площ с размер приблизително 478 km<sup>2</sup>. В локално тектонско отношение районът попада в южната част на Варненската моноклинала, известна като Варненска депресия. Структурно, тя е в рамките на източната част на Мизийската платформа, оформяща северната част на Камчийския подбалкан (Крыстев, Михова, 1990).

Крупните елементи на релефа, които се отделят в Българския сектор на Черно море са: шелф, континентален склон, континентално подножие и абисално дъно (Пърличев, 1976; Отчетен доклад, 1978; Геология..., 1979).

Релевантен към изследвания район се явява Българският Черноморски шелф (БЧШ). Той се дефинира като относително плитководна (дълбочини на водния стълб до около 200 m) част от морското дъно, слабо разчленена абразионно – акумулативна равнина, разположена между бреговата линия и границата с континенталния склон. Геоморфоложки, той се разделя на три зони: вътрешна (прибрежна), централна и външна (периферна) (Крыстев и др., 1984). Хидродинамичната обстановка, с последващи прояви на абразионни и акумулативни процеси, е отличителна характеристика между зоните (Кожухаров и др., 2010). Конкретната морфология на морското дъно е в най-пряка зависимост от съвременните геоложки процеси, протичащи в различните зони на шелфа (Димитров, 2003).

В трите гореспоменати зони, съпоставени с положението на изследваната акватория, геоморфоложки се проследяват: 1 - прибрежна зона; 2 - вътрешна (прибрежна) депресия; 3 - зона на акумулативни валове (Калиакренски вал); 4 - наклонена шелфова равнина; 5 - периферна шелфова зона; 6 - външна депресия (вероятно дъно на реликтова лагуна); 7 - подводни валове в подзоната на периферията на шелфа; 8 - граница шелф - континентален склон (фиг. 2.). Редът на обособяване на зони е от брега в дълбочина. (Геология..., 1979).



Фиг. 2. Геоморфоложко райониране на шелфа (Геология..., 1979). С прекъснатата линия са проследени геоморфоложките форми, релевантни към изследваната акватория.

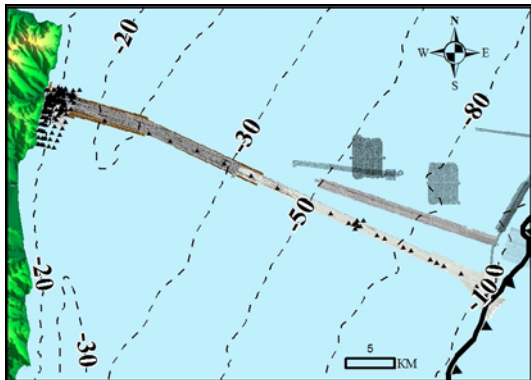
Литоложки, *прибрежната зона* се характеризира с холоценски седименти, които са в тясна връзка с геоложкия строеж на прилежащата суша (Димитров, 1979). Важно е да се отбележи присъствието на неогенски скали от Галатската свита, върху които залягат кватернерните отложения. От важно значение за условията в тази зона е абразионно-срутищният и абразионно-свлачищен акумулативен тип бряг. Морските холоценски наслаги, припокриващи този разнороден седиментен комплекс, са представени от разнообразни по зърнометричен състав пясъци, пясъчливо-тинести и тинести материали, примесени с черупчест детрит, като преобладава едрозърнестата пясъчна фракция с добра сортираност на зърнометричния състав (So от 1,7% до 2,9%) с ерозионно-теригенен произход (CaCO<sub>3</sub> от 4,3% до 8,4%) (Керемедчиев, 2004; Трифонова и др., 2013). На дълбочина от 20 m преминава границата между пясъчния материал и алевритите (Пейчев, Димитров, 2004).

След прибрежната зона от около 23 m, следват холоценовски шелфови седименти от литостратиграфски единици **A, B, C, D, K, H** (Кожухаров и др., 2010). Почти във всички тях присъстват сходни по зърнометричен състав глинести или алевропелитови и пясъчливи тини. В периферния шелфов район (100 m изобата), освен литостратиграфски единици **K** и **H**, се изолират мекопластични алевритови тини с черупки от *Dreissena* – горноплейстоценска (новоевксинска) литостратиграфска единица **L** (Hristova, 2015).

## Методика на изследването

### Експедиционна дейност

В периода от 2009 до 2013г. районът е проучван интензивно по различни задачи (проучвателни, геотехнически, мониторинг на екологичното състояние на дъното). За заснемането на дъно в настоящото изследване са използвани МСС „SeaBat7111“, Многолъчев ехолот „MB1 Teledyne Odom Hydrographic“, странично-сканиращи сонари (Side Scan Sonar) StarFish 450H и „Klein-3000“. В редица експедиции са взети общо 83 геоложки станции, пробонабирани чрез „van Veen“ граб, вибро сондиране и гравитачно сондиране. Използвани са и 58 геоложки станции от фонда на секция „Динамика на бреговата зона“ на ИО (фиг. 3).



Фиг. 3. Схема на фактическия материал (геоложки опробвания и сонарни мозайки)

### Пост-обработка на използваните данни

Тя е подчинена на генерирането на цифров модел на дъното за определяне на морфоложките условия и съставянето на сонарни мозайки за дефиниране на границите между отделните литоложки разновидности.

### Цифров модел на дъното

При обработката на данните от многолъчевото ехолотиране е използван програмния продукт PDS2000. Представени са главните функции при построяването на цифровия модел. Първият етап се състои от:

- филтрация и първична обработка на данните от МСС. Тази процедура завършва с отстраняване на грешно измерените дълбочини;
- оценка на изменението на покритието и плътността на данните след филтрацията;
- изграждане на предварителен цифров модел на дъния релеф;

Резултатът от първия етап завършва със съставянето на предварителна карта. Поради липсата на корекции в нея, се преминава към втория етап на обработката:

- въвеждане на корекции за нивото;
- разпределение на грешката според дълбочината;
- изграждане на цифров модел на релефа на дъното;
- създаване на високо точни батиметрични карти.

### Създаване на сонарна мозайка на дъното

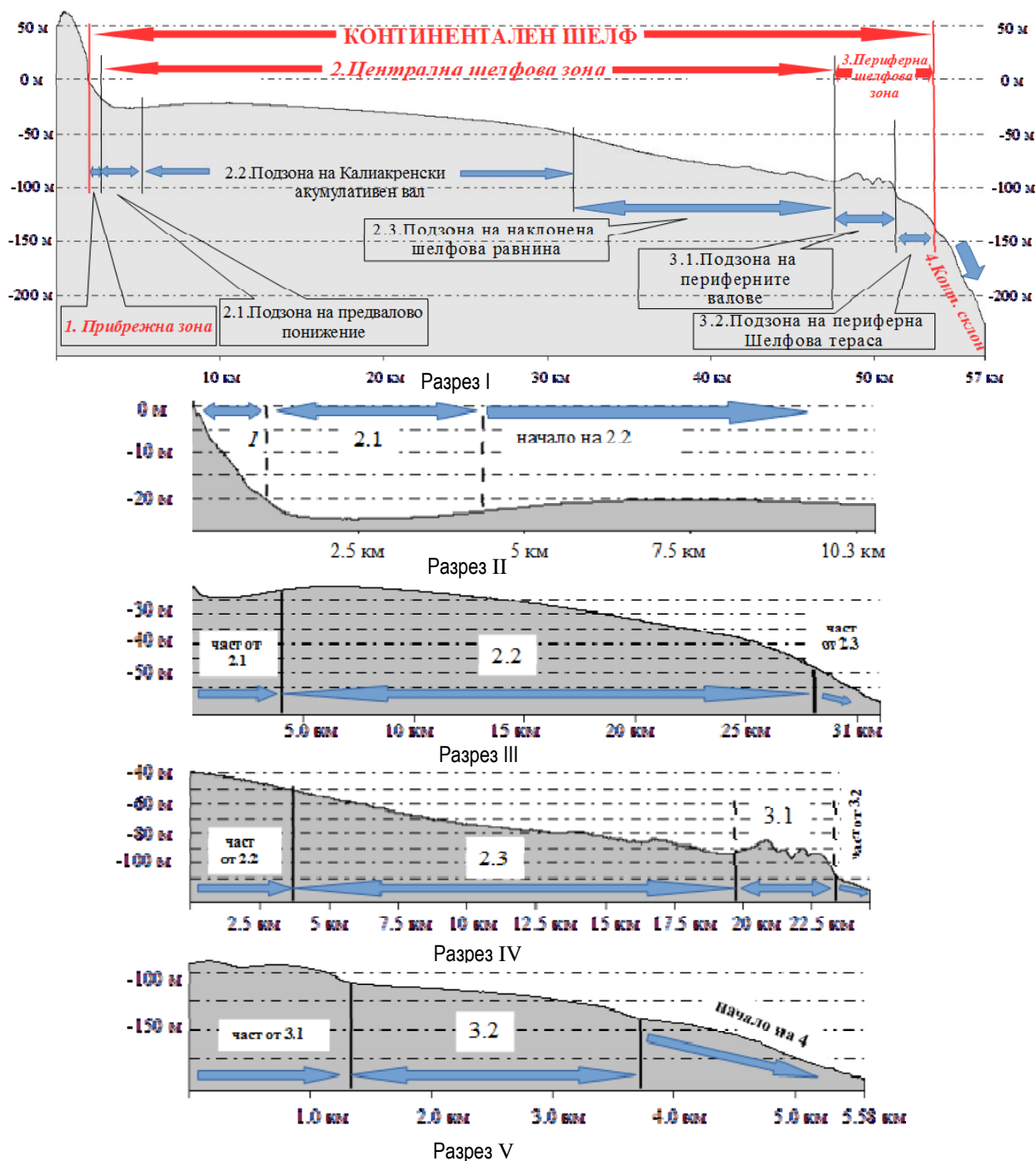
За построяването на мозайка на отразяващата способност на морското дъно, първо се експортират данните от функцията на локатора за страничен обзор, съвместно със сонарната система в програмата PDS2000 във файлове тип \*.XTF с резолюция 0,5 m на пиксел. За получаването на качествена картина на акустичното изображение са използвани няколко усилвания за подчертаване на дребно мащабни (локални) неравности на дъната повърхност, отделно намиращи се в зоната на заснемане на странично-сканиращия сонар обекти (валуни и антропогенни обекти). Това означава, че е постигнат най-добрият резултат на изобразяване на отразения сигнал. Получена подробна сонарна мозайка е с достатъчно висока резолюция за отделяне на литоложките разновидности по физически характеристики.

### Седиментоложки анализ

Избраните 141 станции имат добро покритие на изследваната акватория. Приложени са стандартни седиментоложки анализи (гранулометрия, карбонатно съдържание и органично вещество). Като проблем може да се отчете фактът, че данните са класифицирани в различни класификационни схеми. Една част са класифицирани по БДС 676 от 1985г. (Трифенова и др., 2013), а за друга част е използвана класификационната система на „GRADISTAT program“ (Blott and Pye, 2001; Marine Seabed..., 2013), базирана на Wentworth (1922). Поради различията си в граничните стойности на класовете в двете гореспоменати системи, се налага привеждане на резултатите в една от системите, като е избрана тази на Wentworth (1922). Основната причина за избора на тази система е възможността за прилагане на софтуерния продукт „Gradistat“ (Blott and Pye, 2001), даващ възможност за пакетна обработка на седиментни анализи с голям спектър от изходна информация за пробата –  $D_{10}$ ,  $D_{50}$ , процентно разлагане по фракции, сортираност и други.

## Интерпретация и резултати

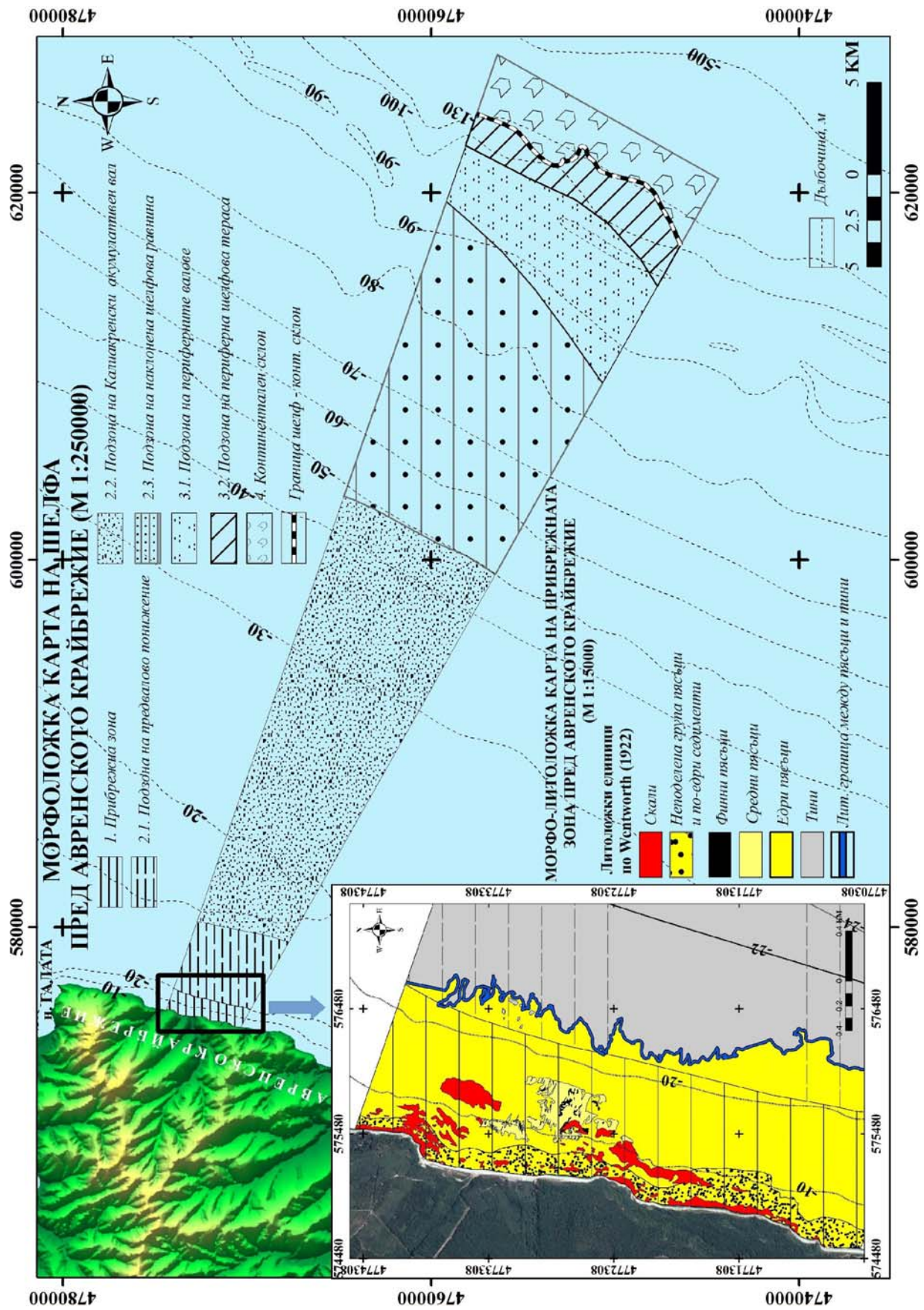
Вътрешната, *прибрежна зона*, обхващаща подводния брегови склон до дълбочина 20 m и е с площ от 4.5 km<sup>2</sup> (фиг. 4). Морфоложният ѝ облик е в пряка връзка с активното вълново въздействие и крайбрежните геоложки условия, в следствие на което е нейният разнороден седиментен и зърнометричен характер. От генерирания цифров модел са изчислени с висока точност стойностите на наклоните в прибрежната зона, а именно: от 0 до 7,5 m – 0,0224; от 7,5 до 11,7 m – 0,014 и 15 до 20 m – 0,0109, което потвърждава трисклонния характер на подводния брегови склон (Керемедчиев, 2004). В разнородния холоценовски седиментен комплекс на прибрежната зона, преобладаващият субстрат е едрия пясък със средни стойности на  $D_{50}$  ~ 0,396, с добра сортираност  $\sigma_g$  ~ 1,27 ф, заемащ 74,4% (3,35 km<sup>2</sup>) от прибрежната зона, разположен между 4 m и 23 m дълбочина (фиг. 5). Забелязва се слабо



Фиг.4. Схематични морфоложки разреди на района между плаж Паша дере и континенталния склон по данни от цифров модел на дъното. Геоморфоложки континенталния шелф е зониран както следва: 1. Прибрежна зона; 2. Централна шелфова зона (2.1. Подзона на предвальново понижение; 2.2. Подзона на Калиакренски акумулативен вал; 2.3.Подзона на наклонена шелфова равнина); 3. Периферна шелфова зона (3.1. Подзона на периферните валове; 3.2.Подзона на периферна шелфова тераса); 4. Континентален склон

наличие на чакъли (средно ~2,17%) във всички 39 проби и почти напълно отсъствие на тинеста фракция (под 0,45%). Втора по площно разпределение се явява групата на *смесените пясъци и по-едри седиментни фракции*. Преимуществено се разполагат до 5 m дълбочина, в рамките на най-активния в хидродинамично отношение подводен склон (от 0 до 7,5 m). Поради липсата на достатъчно седиментни опробвания в тази зона, не могат да се правят заключения за по-детайлното разпределение на литоложките единици, а само общо да се характеризират пространствено.

От сонарните мозайки и сателитните изображения е проследено разположението на скалните разкрития на Галатската свита. Те са успоредни на бреговата линия до 13 m дълбочина и представят 0,33 km<sup>2</sup> (7,11%) от изследваната площ. *Дребно- и среднозърнестите пясъци* (с  $D_{50}CP \sim 2,23 \phi$ ) са с обща площ от 0,18 km<sup>2</sup>, разположени между 7 и 18 m изобата и с умерено добра сортираност ( $\Sigma G \sim 1,42$ ).



Фиг. 5. Морфоложка карта на шелфа пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:250000 и детайлна Морфо-литоложка карта на прибрежната зона пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:15000

В настоящото изследване двата подтипа субстрат са обединени поради слабото присъствие на дребен пясък (0,01 km<sup>2</sup>). Наблюдава се почти пълно отсъствие на чакълеста фракция, като във всички проби максималните стойности достигат до 1%, а средно за всички е 0,24%. Същото важи и за тинестата фракция със средно наличие в пробите от 0,24% (фиг. 5).

Следващите морфоложки подзони на шелфа могат да бъдат обобщени с наличието на холоценовски теригенни тини, предимно с влошена сортировка. В периферната шелфова зона отчетливо се наблюдава наличието на плейстоценовски тини с примеси от цели черупки и детритус от *Dreissena* (фиг. 4). Медианният диаметър  $D_m$  варира в границите между 2 и 6 ф, като дебелината на холоценовия седиментен комплекс надхвърля  $1\pm 2$  m (Кожухаров и др., 2010).

## Изводи и заключения

В резултат на проведеното изследване, по построения цифров модел на дъното, сонарни мозайки и седиментоложки анализи, са постигнати следните резултати:

1. Изготвени са *Морфоложка карта на шелфа пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:250000* и подробна *Морфо-литоложка карта на прибрежната зона пред Авренското крайбрежие в мащаб 1:15000* (фиг. 5), като са очертани границите на морфоложките зони с висока точност, включително е фиксирана и границата между шелфа и континенталния склон;
2. Извършен е съвременен морфо-литоложки анализ в прибрежната шелфова зона, основан на площно разпределение, сортираност и зърнометрични характеристики на седиментите;
3. Определени са дефинитивната граница между пясъчния и тинестия седимент, както и скалните разкрития в бреговата зона.

## Литература

Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. - Сб. Доклады, БАН, С., 1990, - 666 с.

Геология и гидрология западной части Черного моря. С., БАН, 1979, - 143 с.

Геолого-геофизические исследования Болгарского сектора Черного моря. С., БАН, 1980, - 318 с.

Димитров, Л. Геоморфоложка характеристика на шелфа. В *Плитко залегащи газонаситени утайки и газопроявления на българския континентален шелф*. Дисертация за присъждане на научна степен „доктор“. Научен фонд на ИО „Фритъоф Нансен“ - БАН, В., 2003

Димитров, П. Особенности в състава и разпределението на дънните наслаги от черноморския шелф между

носвете Калиакра и Емине. С. *Океанология* 5, С., БАН, 1979, - 22-33.

Керемедчиев, Ст., Геоморфоложки анализ на бреговата зона на Авренското крайбрежие. В *Проблеми на географията*, 3-4, БАН, С., 2004 -126-134.

Кожухаров, Е., Л. Димитров, Р. Христова, В. Дончева. Обяснителна записка. *Геоложка карта на българския сектор от акваторията на Черно море в мащаб 1: 500 000*. Научен фонд на ИО „Фритъоф Нансен“ - БАН, В., 2010, - 65 с.

Крыстев, Т., Л. Волокитина, Д. Пырличев, Ев. Мирлин. Структурно-геоморфологическое строение дна. В *Нефте-газогенетические исследования Болгарского сектора Черного моря*, С., Болгарской академии наук, 1984, - 46-54.

Крыстев, Т., Е. Михова, Релеф и тектоника на българския шелф. В *Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время.*, С., БАН, 1990. - 392-431.

*Нефте-газогенетические исследования Болгарского сектора Черного моря*. С., БАН, 1984. - 288 с.

Пейчев, В., Д., Димитров. Строеж на океански и континентален тип земна кора., *Океанология*, Изд. Онгъл, В., 2012. - 376-401.

Пърличев, Д. Неотектонски проблеми на българския Черно-морски шелф., *Океанология*, 1., С., БАН, 1976, - 81-92.

Blott S.J, K., Pye, Gradstat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surf. Proc. Land.*, 26 (11), 2001, - 1237-1248, doi: 10.1002 / esp.261.

Marine Seabed Habitat Baseline Study. In *South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment*, 2013, - p.44 (available at <http://www.south-stream-offshore.com>)

Hristova, R., Lithostratigraphic and spatial relationship of the Upper Quaternary sediments on the boundary shelf-continental slope in the Bulgarian sector of the Black Sea., *Доклади на Българска академия на науките*, 68, 3, С., 2015. - 351-358.

Wentworth, CK, A scale of grade and class terms for clastic sediments, *J. Geol.*, 30 (5), doi: 10.1086 / 622910. 1922. - 377-392.

Фондови материали:

*Отчетен доклад. Изследване геоморфоложкия строеж, литодинамиката и четвъртичните отложения на бреговата и шелфова зона на Българското Черноморие от н. Калиакра до н. Емине*. В., Научен фонд на ИО „Фритъоф Нансен“ - БАН, 1987, - 570 с.

Трифенова, Е., Ст. Керемедчиев, И. Коцев, И.,1.2. Седименти. В *Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ)*. Договор № 0-33-18 / 12.06.2013, стр.43-76.В., Научен фонд на Институт по Океанология „Фритъоф Нансен“ - БАН, В., 2013,- 43-76.

Статията е рецензирана от проф. дн Веселин Пейчев – ИО-БАН.