

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МНОГОЛЪЧЕВИ СОНАРНИ СИСТЕМИ В ГЕОЛОЖКОТО КАРТИРАНЕ НА ДЪННИТЕ СЕДИМЕНТИ В КРАЙБРЕЖНАТА ЗОНА ПРЕД ПЛАЖ ПАША ДЕРЕ, СЕВЕРНО БЪЛГАРСКО ЧЕРНОМОРИЕ

Богдан Проданов, Любомир Димитров

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

РЕЗЮМЕ. С приемането на Република България в Европейския Съюз, страната ни поема 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. Съвременните многолъчеви сонарни системи предлагат възможности за прецизност и висока разделителна способност на данните, необходими при пространствения анализ на подводния релеф и литоложките разновидности на дъното. Тези проучвания са иновативни за Република България и навлизат в практиката с бързи темпове, като представените в настоящата работа резултати, потвърждават нуждата от широкото им приложение в морското геоложко картиране и картографиране. Настоящият доклад представя данни от приложението на многолъчева сонарна система (MCC) Seabat7111 с цел геоложко картиране в бреговата зона пред плаж Паша Дере (северно Българско Черноморие). Използваните данни обединяват сонарни мозайки, данни от еднолъчеви и многолъчеви батиметрични изследвания и растерни сателитни изображения, обработени софтуерно в PDS 2000, SonarWiz и Географски информационни системи (ГИС). Получените резултати отразяват първия етап от геоложкото картиране на подводната част от бреговата зона в упоменатия район. Създаден е цифров модел на подводния релеф пред плаж Паша Дере и въз основа на него е построена високоточна батиметрична карта с интервал между изобатите от 0,5 m. Определени са прогнозни граници на дънните литоложки разновидности по техните физически характеристики.

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

APPLICATION OF MULTIBEAM ECHO SOUNDING SYSTEMS IN SEABED GEOLOGICAL MAPPING. CASE STUDY: PASHA DERE COASTAL ZONE, NORTHERN BULGARIAN BLACK SEA

Bogdan Prodanov, Lyubomir Dimitrov

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

ABSTRACT. With the adoption of Bulgaria in the European Union, our country took the binding commitments arising from existing European directives. Natura 2000, "EU Water Framework Directive", "EU Habitats Directive" and "Marine Strategy Framework Directive" engage with complex mapping of terrestrial and marine areas of the country. This requires systematic study and complex exploration of the Bulgarian Black Sea waters, such as geomorphological and geological mapping of the seabed, which makes it a national priority. Human impact on the seafloor environment have reached unprecedented levels and in order to facilitate integrated management of the marine environment, as well as to optimize marine spatial planning and introduce mitigation activities, there is a need of improvement of our understanding of the seabed. Multibeam sonar systems offer opportunities for precision and high resolution of data acquisition required in the analysis of underwater topography and lithological varieties of the seabed sediments. Application of such studies is innovative for Bulgaria, but rapidly put into practice, and the discussed results confirm the need for their wide implementation into marine geological mapping. The present study considers the application of multibeam echo sounding system Seabat7111 for seabed geological mapping of the coastal zone in the area of Pasha Dere beach (North Bulgarian Black Sea). The used data combine sonar mosaics, singlebeam and multibeam bathymetric data and raster satellite images, processed in PDS 2000, SonarWiz and GIS environment. The results present the initial phase of geological mapping of the study area. A high resolution digital terrain model (DTM) of the seabed in front of Pasha Dere beach is created serving as basis for building of high accuracy bathymetric map with 0.5 m isobaths spacing. Boundaries of underwater lithological varieties based on physical characteristics are determined.

Key words: Sea, coastal zone, lithological varieties, Multibeam Echosounder System, GIS

Въведение

Основна част от информацията при изследване на моретата и океаните се придобива чрез картиране на морското дъно. Понастоящем необходимостта от разнообразни карти на морското дъно с различна насоченост (геоморфоложки, геоложки, на рискови фактори, на дънни хабитати, потънали обекти и др.), интегрирани с други

елементи на околната среда, изготвени на съвременно ниво и с използване на иновативни технологии, непрекъснато нараства. Като основа за всички тези карти, служи картата на дълбочините на морското дъно или т.н. батиметрична карта. Уредите за картиране и получаване на изображения на морското дъно използват физичните особености на звука. Това са т. н. сонарни системи (Sound detection and ranging). Звуковите вълни, възпроизведени от

тях, се отразяват от дъното и обектите, които лежат на него, обратно до сонара, като получената информация се визуализира чрез специализиран софтуер. Снабдени с GPS, тези устройства позволяват картиране на големи площи от морското дъно. Комплексното картиране на морското дъно със съвременни сонарни системи има широко приложение в морската, нефтена и газова промишленост, телекомуникационните компании, хидротехническото строителство и други.

Най-ранните техники за измерване на дълбочината във водата са доста опростени (въжета или кабели с тежест). В океански и речни басейни се появяват неточности поради деформации от подводни течения и движението на плавателни съдове. Като друг важен недостатък може да се отчете и невъзможността за точно позициониране, което е основен фактор за коректността в картирането на морското дъно. След 1950 г. тези неточни техники са заменени с използването на скоростта на звука във водата, като звуковият импулс от кораба се отразява от дъното и се връща в приемника на плавателния съд. Става възможно и разширяване на обхвата на ехолотите до 60°, като това е иновативно за хидрографските изследвания и дава възможност за по-детайлно проучване на дъното. След 1960 г. морското картографиране се превръща в актуална дейност. Главната причина е появата на многолъчевите ехолоти (ME). Първите изследвания с ехолоти са проведени в периода между 60 и 80-те години на миналия век, отразени например в научни трудове на Tucker (1961), Tucker, Henderson (1960) и други.

Една от първите статии за многолъчеви сонарни системи (MCC) е на Glenn (1970). Авторът описва оперативна MCC (*Multi-Beam Array Sonar Survey System*), приложена от армията на САЩ за дълбоководни океански проучвания. Лъчите се генерират с помощта на електронна матрица, използваща постоянно захранване, което дава възможност за комплексна обработка на данни в реално време. Интегриран е жирокомпас с цел компенсация на неточностите при разпространението на лъчите и движението на кораба. Това е първата възможност за създаване на контурни карти в реално време. Burke, Robinson (1975) описват първия многолъчев ехолот за проучвания в плитките води „Bo sul“ (военноморски жаргон за боцман). Системата е развита до формирането на 21 лъча под плавателния съд. Покритието на дъното е 2,6 пъти по-голямо от дълбочината, на която се намира излъчвателят или 105 m. Работната честота е 36 kHz, с максимално проучване до дълбочина от 800 m Използвана е в Bedford Basin, поради нарастващата нужда от проучване на плитките канали, през които преминават танкери. Като недостатък на системата се изтъква невъзможността от достатъчно захранване, водещо до загуба на изчислителна мощност (Burke, Robinson, 1975; Vilming, 1998).

След огромния скок в микроелектрониката и компютърните технологии през 90-те г. на XX век, технологичното развитие на сонарните системи и приложението им в океанографските проучвания нарастват значително и започва въвеждането им в масова употреба и налагането им като стандарт за хидрографски проучвания.

Съвременен състояние на Многолъчевите сонарни системи

Информацията за построяване на батиметричните карти, получена само по профили чрез конвенционални, еднолъчеви ехолоти, не отговаря на критериите на съвременното картиране. При този подход, колкото и гъста да е профилната мрежа, остават неизследвани области между отделните профили, за които се налага интерполиране на данните. Нововъведенията в цифровите техники и технологии за картиране на ивици от морското дъно с определена ширина (*swath bathymetric mapping*) позволяват цялостно покриване на района на изследване. Така наречените многолъчеви ехолоти (*multi beam echo sounders*) дават комплексна картина на морското дъно. Освен дълбочините, от получените данни може да се извлече разнообразна информация за типа на дънните седименти, за различни обекти на повърхността на дъното от изкуствен и естествен произход и редица други явления, оставащи непознати при предишни изследвания с конвенционални ехолоти. С тези си качества ME придобиват първостепенно и решаващо значение в почти всички сфери на съвременните изследвания на морското дъно.

Странично-сканиращи сонарни системи (ССС)

За разлика от MCC, тяхното приложение е в получаването на акустична картина (изображение) на дъното. Възможността за получаване на различни по физични характеристики (цвят, размер и положение) разновидности, ги прави задължителни при проучването на геоложките процеси и характеризирането на литоложки разновидности (Zajac et al., 1995; Barnhard et al., 1998; Cochrane, Lafferty, 2002). Предпоставка за приложението на СССР са различните отражателни характеристики на дъното в изследваните акватории. За плътни разновидности (например метал, камъни, чакъли, едър пясък и други), поради характера си, се появяват като тъмни области в сонарните изображения. Обратно, райони с меки или неспоени седименти, се изобразяват в по-светли нюанси.

Понастоящем многолъчевите сонарни системи, интегрирани с локатор за страничен обзор се утвърждават като най-добра практика и основно средство за получаване на високо точни батиметрични и сонарни данни, основа на изучаване на геоложки процеси, картиране на седимента като база на дефиниране на местообитания (Kostylev et al., 2001; Brown, Blondel, 2009; Che Hasan et al., 2012; Rattray et al., 2015). При археологическото проучване MCC се използват за локализиране на обекти и придобиване на представа за формата, размера, разположението и др. Начални сведения за прилагането на еднолъчеви системи с цел батиметрично картиране, като основа на геоложкия строеж и геоморфоложкото зонироване на Българския шелф са правени главно преди 1990г. от българо-съветски екипи (Геолого - геофизическите..., 1980; Геологическая ..., 1990).

Настоящият доклад има за цел да представи използването едновременно на многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111), като основно средство за пълно, високо точно батиметрично картиране на дъното и отделяне на разновидности по физически характеристики (цвят, положение, размер и форма). Представена е първата

стъпка от геоложкото картиране, а именно съставянето на цифров модел на дъното и отделяне на прогнозни литоложки разновидности в крайбрежната зона пред плаж Паша дере (Централно Българско черноморие).

Характеристика на района.

Географски, той се намира на 7 km южно от нос Галата (Варненски залив) пред плаж Паша дере (Фиг. 1) с дължина на бреговата линия около 3,4 km. В дълбочина северната и южната граница са почти успоредни една на друга, с направление североизток – югозапад и дължина приблизително 2 km. Най-източната част на района е границата между прибрежната зона и централната шелфова зона, като дълбочината е около 23 m.



Фиг.1. Схема на местоположението на изследвания район.

Методика на изследването

В периода от 2009 до 2013 г. районът е проучван детайлно по различни задачи (проучвателни, геотехнически, мониторинг на екологичното състояние на дъното). При заснемането на дъното за настоящото изследване са използвани МСС „SeaBat7111“ (Marine Seabed..., 2013), Многолъчев ехолот „MB1 Teledyne Odom Hydrographic“, странично-сканиращи сонари „Side Scann Sonar StarFish 450H“ и „Klein-3000“.

Пост-обработката на използваните данни е подчинена на генериране на цифров модел на дъното за определяне на морфоложките условия, сонарни мозайки за дефиниране на прогнозни литоложки разновидности. По-долу са представени етапите в пост-обработката, а именно:

Получаване на цифров модел на дъното

При обработката на данните от многолъчева сонарна система и странично-сканиращ сонар (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111) е използван програмния продукт PDS2000. Представени са основните етапи при генерирането на цифровия модел.

➤ Първичната обработка на данни от *позиционирането* се състои от следните етапи:

- Анализ на регистрирани данни от всички устройства за позициониране (GPS-приемник, жирокомпас, датчик за динамичните движения), отхвърляне на некоректни измервания и филтрация на данни.

Процедурата се изпълнява от програмен продукт PDS2000 RowDataAnalyze;

- Експортиране на данни от PDS2000 във файл ASCII;
- Проверка на експортираните данни;
- Графично изобразяване на позициите на регистриращите устройствата.

➤ Първичната обработка на данни от МСС (Multibeam Echosounder System SeaBat 7111) се състои от:

- Филтрация и първична обработка на данните от МСС. Тази процедура завършва с отстраняване на грешно измерените дълбочини;
- Оценка изменението на покритието и плътността на данните след филтрацията;
- Изграждане на предварителен цифров модел на дънния релеф.

Основните цели на първичната обработка са: оценка на плътността на събраните данни и подготовка на данните за последваща обработка. При липса на корекции в предварителния цифров модел на дънния релеф, се преминава към втория етап на обработката:

- Въвеждане на корекции за морското ниво;
- Разпределение на грешката според дълбочината;
- Изграждане на коректен цифров модел на релефа на дъното;
- Създаване на високо точни батиметрични карти.

Получаване на сонарна мозайка на дъното

За построяването на мозайка на отразителната способност на морското дъно, първоначално 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 получаване на качествена картина на акустичното изображение са използвани няколко усилвания за изобразяване на маломасабни (локални) неравности на дънната повърхност, т.е. отделно намиращи се обекти (валуни и антропогенни обекти), които се локализируют в зоната на заснемане със странично-сканиращ сонар. Това е индикация за постигане на добър резултат при изобразяване на отразения сигнал. Получената подробна сонарна мозайка, с резолюция от 0,5 m на пиксел, позволява отделяне на литоложките разновидности по физически характеристики.

Резултати и интерпретация

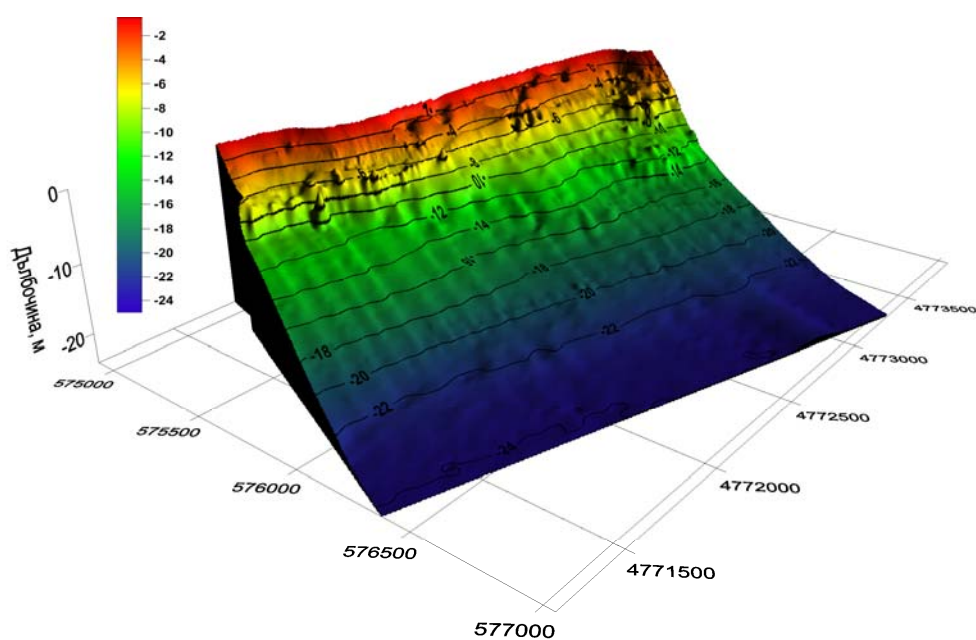
Представената интерпретация е основана на литературен обзор на литоложки и зърнометрични проучвания в района, на който се стъпва при прогнозирането на литоложките разновидности.

Съчетанието между получения цифров модел на дъното и сонарните мозайки с резолюция от 0,5 m, дава възможност за отделяне на прогнозни литоложки разновидности, съобразени с морфо-литоложките условия пред плаж Паша дере.

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).



Фиг.2. Цифров модел на релефа на дъното пред плаж Паша дере (дълбочината е отразена чрез изобати със стъпка от 2 м

Изследваният участък е локализиран до дълбочини 23 м, обхващащ прибрежната зона и част от вътрешната депресия в геоморфоложки аспект. Литоложки, прибрежната зона се характеризира с холоценски седименти, които са в тясна връзка с геоложкия строеж на прилежащата суша (Димитров, 1979). Те са представени от разнообразни по зърнометричен състав пясъци, пясъчливо-тинести и тинести материали, примесени с черупчест детритус, като преобладава едрозърнестата пясъчна фракция с добра сортираност на зърнометричния състав с ерозионно-теригенен произход (Керемедчиев, Пейчев, 2003; Керемедчиев, 2004; Коцев, Керемедчиев, 2012; Трифонова и др., 2013; Prodanov et al., 2014). На дълбочина от около 20 м преминава границата между пясъчния материал и алевритите (Пейчев, Димитров, 2012).

Цифровият модел на дъното пред плаж Паша дере (фиг. 2), потвърждава трисклонния релеф в прибрежната зона (Керемедчиев, Чернева, 2000), с доминиращи абразионно-структурно-свлачищен и акумулативен типове подводен релеф (Керемедчиев, 2004; Коцев, 2014). На фигура 3, по физически характеристики (цвет, форма и дълбочина), съобразени с гореспоменатите литоморфоложки условия в района, са отделени литоложки разновидности с прогнозен състав. При дълбочини 22÷23 м ясно се дефинира границата по физически характеристики между пясъчен и тинест субстрат (фиг. 3). Пясъчният субстрат е обособен между 4 и 22 м, характеризира се като възможен **едър пясък**, поради тъмния цвят на сонарната мозайка. Срещат се петна с по-светъл нюанс в сонарната мозайка, което свидетелства за неспоеност на материала. Обвързването между цвят, форма и вдлъбнатини на релефа (фиг. 2,3), дава

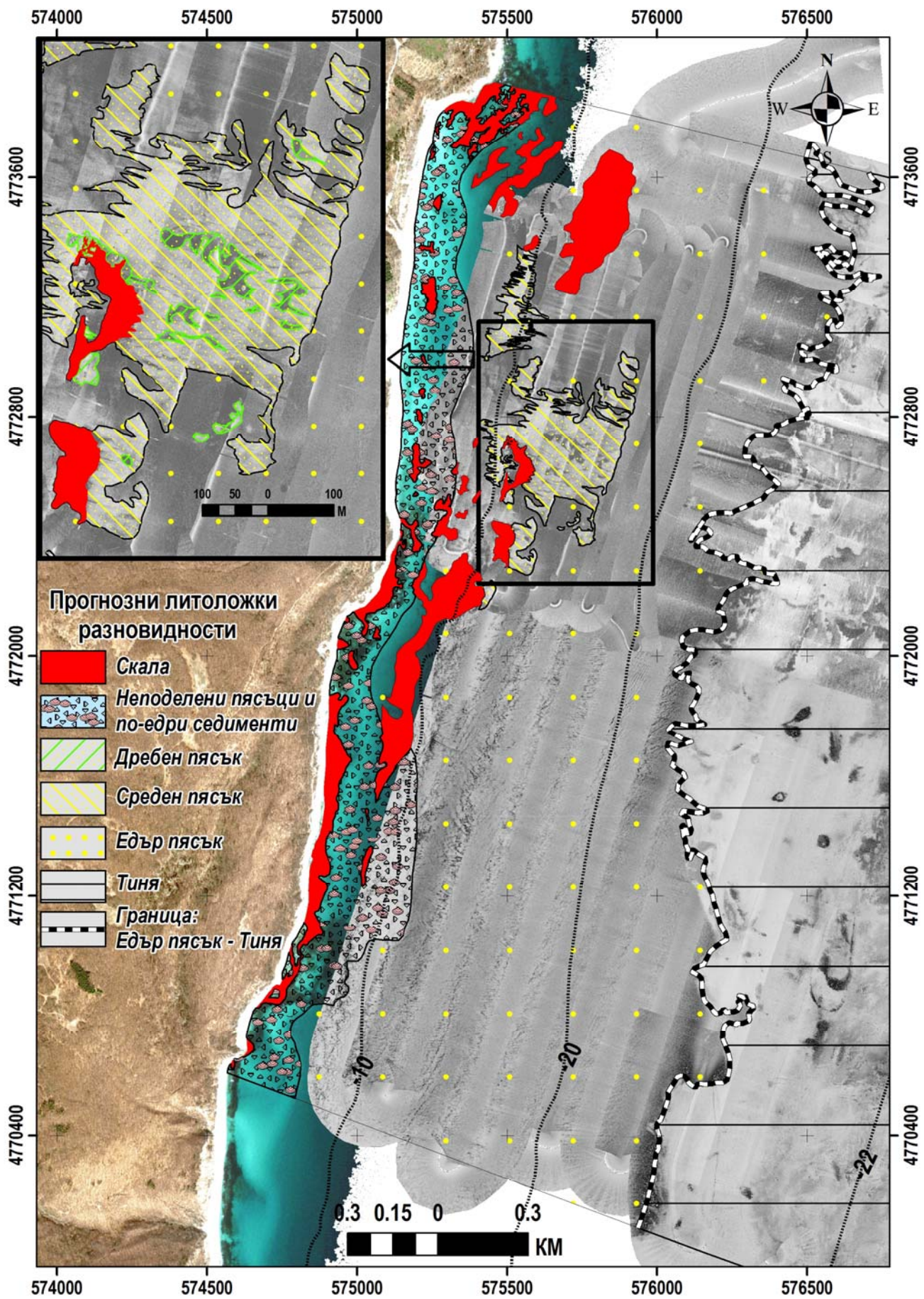
възможност за обособяване на зони със **средно- до дребнозърнест пясък**. Въз основа на комбинация между сонарни мозайки и сателитни изображения с висока резолюция, са фиксирани **скали** на Галатската свита на дълбочини до 14 м, разположени успоредно на брега (фиг. 3).

Неподелени пясъци и по-едри седименти са разположени до дълбочини от около 5 м, в границите на най-активния в хидродинамично отношение подводен склон. Локализирането им е на основата на сателитни изображения, а за характера на тези отложения се съди по литературни данни (Керемедчиев, 2004; Коцев, Керемедчиев, 2012; Трифонова и др., 2013).

Изводи и заключения

В резултат на проведеното изследване с многолъчева сонарна система, обвързано с допълнителни данни, са изготвени:

1. Цифров модел на релефа на дъното пред плаж Паша дере с интервал между изобатите 0,5 м, база за високо точна батиметрична карта (фиг. 2).
2. Литоложка карта с прогнозен характер на седимента в крайбрежната зона пред плаж Паша дере в мащаб 1:15000 (фиг. 3), като пространствено са представени възможните литоложки разновидности.
3. Дефинитивна граница между пясъчния и тинестия субстрат, варираща между 20 и 23 м дълбочина.
4. Пространствено разпределение на скалните образувания в прибрежната зона до 14 м дълбочина.



Фиг. 3. Литоложка карта с прогнозен характер на седимента в крайбрежната зона пред плаж Паша дере в мащаб 1:15000.

Литература

- Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время. - Сб. Доклады, БАН, С., 1990, - 666 с.
- Геолого-геофизические исследования Болгарского сектора Черного моря. С., БАН, 1980, - 318 с.
- Димитров, П. Особенности в състава и разпределението на дънните наслаги от черноморския шелф между носовите Калиакра и Емине. С. *Океанология* 5, С., БАН, 1979, - 22-33.
- Керемедчиев, Ст., В. Пейчев. Геоморфодинамичен анализ на бреговата зона между н. Галата и Сакъма дере. В: *Окончателен доклад. Научен фонд на Институт по Океанология „Фритъоф Хансен”-БАН*, В, 2003, - 35 с.
- Керемедчиев, Ст. Геоморфоложки анализ на бреговата зона на Авренското крайбрежие. В: *Проблеми на географията*, 3-4, БАН, С., 2004 -126-134.
- Коцев, И. Структура, динамика и райониране на Черноморската крайбрежна зона между нос Калиакра и нос Емине. *Дисертация за присъждане на образователно-квалификационна степен "Доктор"*, Институт по океанология-БАН, В, 2014, - 303 с.
- Коцев, И., Ст. Керемедчиев. 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"*, ISSN 1312-0867, 30, 2012, - 103-106.
- Крыстов, Т., Е. Михова. Релеф и тектоника Болгарского шельфа. В: *Геологическая эволюция западной части Черноморской котловины в неоген-четвертичное время*, С., БАН, 1990 - 392-431.
- Пейчев, В., Д. Димитров. Строеж на океански и континентален тип земна кора. В: *Океанология*, Изд. Онгъл, В., 2012, - 376-401.
- Трифоновна, Е., Ст. Керемедчиев, И. Коцев. Седименти. В: *Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ)*. Договор № 0-33-18 / 12.06.2013, В., Научен фонд на Институт по Океанология „Фритъоф Хансен”- БАН, В., 2013,- 43-76.
- Barnhardt, W.A., J.T. Kelley, S.M. Dickson, D.F. Belknap. Mapping the Gulf of Maine with side-scan sonar: A new bottom-type classification for complex seafloors. In: *Journal of Coastal Research* 14(2), 1998. - 646-659.
- Brown, C.J., P. Blondel. Developments in the application of multibeam sonar backscatter for seafloor habitat mapping". In: *Applied Acoustics*, 70(10), 2009. - 1242-1247.
- Burke, R., J. Robson. *International Hydrographic Review* 52 (2), 1975, - 53-69.
- Cochrane G.R., K.D. Lafferty. Use of acoustic classification of side-scan sonar data for mapping benthic habitats in the Northern Channel Islands, California. In: *Continental Shelf Research*. 22, 2002, - 683-690.
- Che Hasan, R., D. Ierodiconou, L. Laurenson. Combining angular response classification and backscatter imagery segmentation for benthic biological habitat mapping. In: *Estuarine Coastal and Shelf Science* 97, doi: 10.1016/j.ecss.2011.10.004; 2012. - 9 p.
- Glenn, M. R. *International Hydrographic Review* 47 (1), 1970. - 35-39.
- Keremedchiev, St., Ch. Cherneva. Geomorphological classification of profile type along the Bulgarian Black Sea Coast, В: *Доклади на БАН*, т.53, №12, Раздел Геология, 2000, - 69-72.
- Kostylev, V.E., B.J. Todd, G.B.J. Fader, R.C. Courtney, G.D.M. Cameron, R.A. Pickrill. Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. In: *Marine Ecology Progress Series* 219, 2001, - 121–137.
- Marine Seabed Habitat Baseline Study. In: *South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment*, 2013, - p.44 (available at <http://www.southstream-offshore.com>)
- Prodanov, B., I. Kotsev, L. Dimitrov. Seascape-based Modeling of Benthic Habitats Spatial Distribution. Case Study: Avren Plateau Sublittoral Zone, Bulgarian Black. In: *Proc. 12th Int. Conference on Marine Science and Technology "Black Sea"*, ISSN 1314-0958, Varna, 2014, - 175-182.
- Rattray, A., D. Ierodiconou, T. Womersley. Wave exposure as a predictor of benthic habitat distribution on high energy temperate reefs. In: *Front. Mar. Sci.* 2, 2015. - 1–14.
- Tucker, M. J. *International Hydrographic Review* 38 (2), 1961, - 25-32.
- Tucker, D. G., J. G. Henderson. *International Hydrographic Review* 37 (1), 1960, - 69-78.
- Vilming, S. The Development of the Multibeam Echosounder: A Historical Account Review. In: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(5), DOI: 10.1121/1.422177, 1998, - 637-1638.
- Zajac, R. N., E. King, J. Dowgiallo, S. Wilson, R. Lewis, L.J. Poppe, J. Vozarik. The use of side scan sonar and other imaging methods to assess sea floor habitats and associated benthic communities in Long Island Sound, In: *Geological Society of America, Northeastern Section, 30th annual meeting*, 27(1), 1995, - 94 p.

Статията е рецензирана от доц. д-р Стоян Керемедчиев – ИО-БАН.