https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N15

Remote Sensing in the bathymetric mapping of the Bulgarian Black Sea coastal zone

Lyubomira Trendafilova[1]

[1] Fridtjof Nansen Institut of oceanology, Bulgarian Academy of sciences, 40 Parvy May blvd,. 9000, Varna, Republic of Bulgaria, e-mail: lyubomira.n.trendafilova@gmail.com

Key words: bathymetry, sonar systems, digital terrain model of the sea bottom, Bulgarian shelf zone

Abstract
For the better management of the ocean and sea resources, the most important is to understand the structures, the relief, and shapes of the seabed, as well as the rate of the distribution of the benthos habitats. Such cartography is essential to improve our understanding of ecosystem dynamics and the links between biota and habitats. In recent years, huge investments in the development of hydrographic technologies have made it possible to map large areas of the continental shelf. Basic remote techniques allow the measurement of depth and other physical characteristics to assess and analyze the roughness and hardness of the seabed over large areas. With the accession of the Republic of Bulgaria to the European Union, our country has undertaken a number of commitments related to full-scale mapping of the sea areas of the country. This requires a systematic study and comprehension of the Bulgarian sector of the Black Sea, as geomorphological and geological mapping of the seabed are a priority task of national importance. Modern multi-beam sonar systems offer opportunities for precision and high-resolution data required for spatial analysis of seabed forms and lithological varieties of the bottom. These studies are fundamental for the country and are currently integrated into hydrographic practices. The results presented in this paper confirm the need for their wide application in marine geological mapping and mapping. This report aims to present a catalog of current research in the Bulgarian Black Sea coastal zone (BBSCZ), to analyze current problems in the survey of our seabed, as well as to present current solutions for future research of the most difficult to access shallow water areas within BBSCZ.

Дистанционно наблюдение в батематричното картиране на Българската черноморска крайбрежна зона

Любомира Трендафилова[1]

[1] Институт по океанология "Фритьоф Нансен" – Българска Академия на науките, гр. Варна 9000, ул. „Първи май“ № 40 e-mail: lyubomira.n.trendafilova@gmail.com

Ключови думи: : батиметрия, сонарни системи, дигитален модел на морското дъно, Българската черноморска крайбрежна зона

Резюме
Познанието за релефа, формите на морското дъно и структурата на дънния субстрат и неговото пространствено разпределение, а от там и разпространението на дънните местообитания, са от фундаментално значение за правилното и по-добро управление на морските ресурси. Комплексното картографиране на морското дъно е от съществено значение за подобряване на нашето разбиране за динамиката на съвременните геоложки процеси, екосистемите и връзките между биотата и физическите местообитания. През последните години, бързото развитие на хидрографските технологии направи възможно картографиране на големи площи на континенталния шелф относително бързо и ефективно. Основните дистанционни техники позволяват измерване на дълбочината и физични характеристики за оценка и анализ на грапавостта и твърдостта на морското дъно върху големи площи. С приемането на Република България в Европейския Съюз, страната ни пое редица ангажименти свързани с пълноплощно картиране на морските участъци на Република България. 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. 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 основополагащи и понастоящем са интегрирани в хидрографските практики. Представените в настоящата работа резултати, потвърждават нуждата от широкото им приложение в морското геоложко картиране и картографиране. Настоящият доклад има за цел да представи каталог на съвременните изследвания в българската черноморска крайбрежна зона (БЧКЗ), да анализира настоящите проблеми в заснемането на морското ни дъно, както и да представи актуални решения за бъдещи изследвания на най-трудно достъпните плитководни зони в рамките на БЧКЗ.

1. Въведение

Подробното познаване на формите на морското дъно е от решаващо значение за човечеството, а батиметричните данни са от първостепенно значение за навигационната безопасност. В ерата на непрестанно влошаване на околната среда в световен мащаб, данните за батиметрията и получените от нея знания играят ключова роля при използването и управлението на световните океани като природен ресурс, който е в съответствие с Цел 14 на Организацията на обединените нации (ООН) за устойчиво развитие - опазване и устойчиво използване на океаните, моретата и морските ресурси. Въпреки това, по-голямата част от нашите океани все още са практически слабо картографирани или неизследвани. Само малка част от морското дъно е систематично изследвана чрез постоянни измервания. Световният океан покрива 71% от Земята. Това е около 362 милиона квадратни километра [12], но само малка част е картографирана чрез пряко наблюдение. През последните няколко години се наблюдава възраждане на признанието за важността на картографирането на морското дъно и в момента се провеждат много национални и международни инициативи. Неотдавнашните трагедии като изчезването на полет MH370 на Malaysia Airlines, както и природни бедствия, загуба на местообитания и нарастващото търсене на извънбрегова (“offshore”) енергия и морски ресурси, подчертаха необходимостта от по-добро познаване на морското дъно (напр. [39]).
След приемането на Република България в Европейския Съюз и уеднаквяването на протоколите за изследване на морското дъно, страната бе ангажирана с изпълнението на редица действащи директиви на европейско ниво. „Рамкова директива за местообитанията”, „Рамкова директива за водите” и „Рамкова директива за морска стратегия“ са само част от документите, които придават първостепенно значение на пълноплощно картиране на акваториално-морските участъци на Република България. Това налага системно проучване и комплексно изследване на Българския сектор от Черно море. При това геоморфоложкото и геоложко картиране на морското дъно се явяват водеща задача от национално значение.
Основната цел на настоящия доклад, е да се представят съвременните методи за картиране на морското дъно, чрез които е изследвана българската черноморска крайбрежна зона (БЧКЗ). Друга важна задача е систамизирането на каталог и оценка на наличните данни от съвременни батиметрични изследвания в рамките на БЧКЗ.

2. Основни методи за картиране на дъното

Батиметрията има за цел да топографира морското дъно. Историята на този клон на хидрографията датира от повече от 3000 години, като първите данни за измервания на дълбочината на водата в историческите записи датират още от древен Египет [40]. Първите измервателни устройства са сондажни стълбове и линии с прикрепени към тях тежести. Първото широкомащабно научно приложение с използване на лотове, е по време на океанографската експедиция HMS Challenger по целия свят през 1870-те години, като тези измервания остават стандартна практика и през началото на XX век. Понастоящем, най-широко разпространените методи за получаването на информация с висока резолюция за дълбочината на дъното и формите на релефа се базират на разнообразна апаратура и методики, като еднолъчеви и многолъчеви сонарни системи, сателитна батиметрия, лидарни системи, сателитна алтиметрия, автономни подводни и надводни средства за заснемане на морското дъно [42].

Еднолъчеви ехолоти (Single Beam Echo-Sounders – SBES). Разработването на еднолъчеви технологии представлява значително подобрение по отношение на точността и ефективността спрямо по-ранното оборудване. SBES са конфигурирани с пиезоелектрични преобразуватели с кристален или керамичен състав, които могат да генерират и приемат акустични сигнали. Дълбочината на морското дъно се определя чрез измерване на времето за двупосочно пътуване на звукова вълна, която се изпраща към морското дъно и обратно. [24].

Многолъчеви ехолоти (Multibeam Echo-Sounders – MBES). Те стават публично достъпни през 70-те години (напр. [14], [37]), съвпадащо с развитието на системата за глобално позициониране (GPS) на сателитната навигационна система, позволяваща висока пространствена точност за измервания в световен мащаб. Многолъчевите системи излъчват ветрилообразна звукова вълна и приемат върнатия

сигнал, в областта перпендикулярно разположена на движението на морския съд. Съвременните системи имат многобройни лъчи, с които могат да постигнат ъгли на покритие между 120° и 150°. Те имат предимството да събират батиметрични данни с по-висока разделителна способност и работят много по-ефективно, като картографират площно дадена област за много по-кратко време в сравнение с еднолъчевите ехолоти.

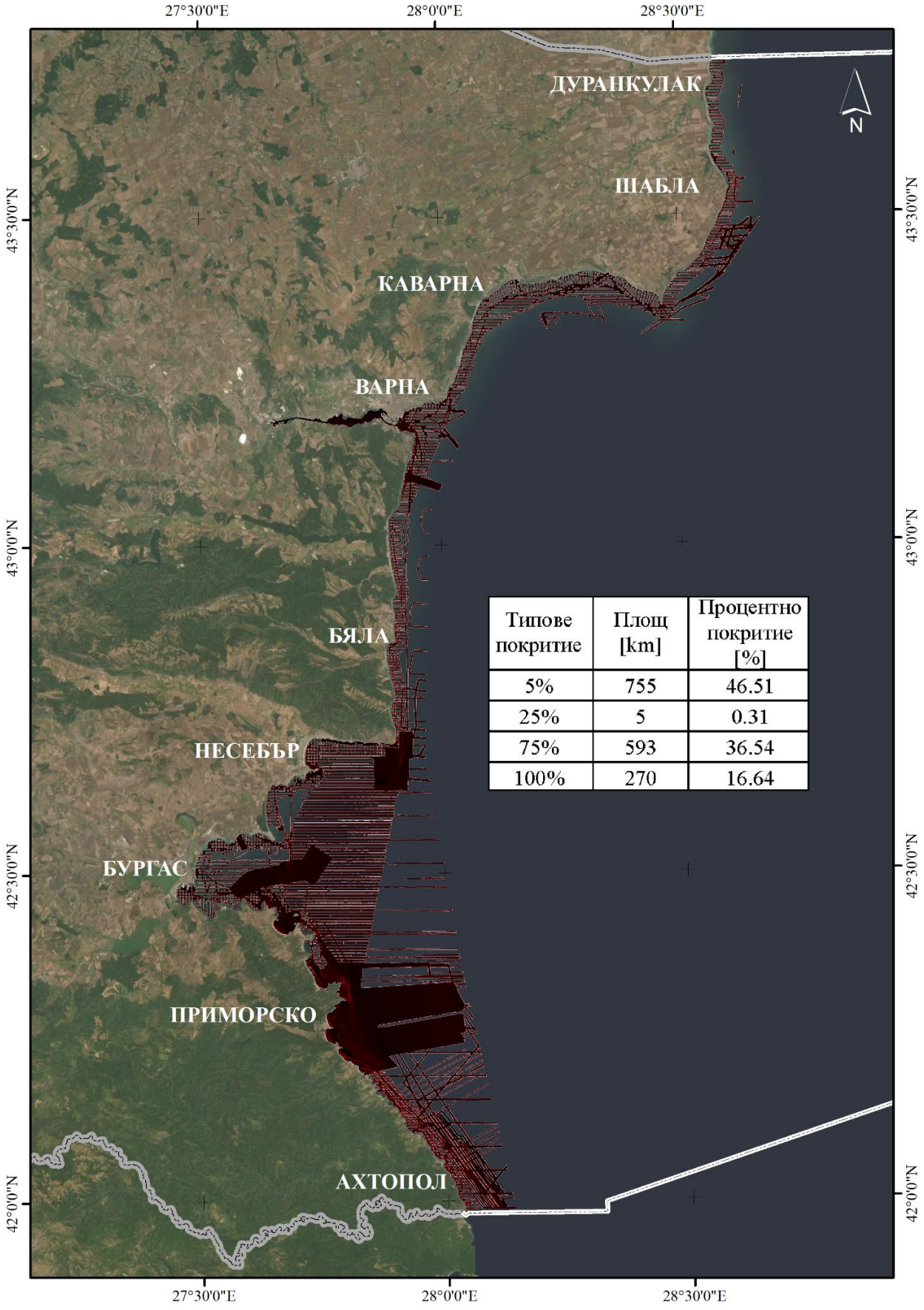
Сателитна батиметрия (Satellite-Derived Bathymetry - SDB). Две нови, съвременни техники за картографиране на морското дъно се използват предимно в крайбрежната зона. Събирането на батиметрични данни с плавателни съдове в плитки води е значително по-трудоемко и опасно от събирането в дълбоки води. Сателитната батиметрия (Satellite-Derived Bathymetry - SDB) от мултиспектрални сателитни изображения, разработени през 70-те години на миналия век, може да се използва за картографиране на плитки зони, където бистротата на водата позволява. Сателитните платформи събират данни в множество спектри, обхващащи видимата и инфрачервената област на електромагнитния спектър. Оценките на дълбочината във водата се основават на затихването на сигнала като функция от дълбочината и дължината на вълната във водния стълб [25].

Light Detection and Ranging (LIDAR). Друга възможност за картографиране на плитки зони е използването на батиметричен LIDAR, който предава лазерни импулси от въздушна платформа и измерва характеристиките на връщането им. Дълбочината на водата се изчислява от разликата във времето между отражението от водната повърхност и отражението от морското дъно [16]. Използването на такива оптични решения обаче е ограничено до плитки участъци с оптимална чистота на водата.

Генерирането на дигитални модели на релефа - ДМР *(Digital Terrain Models – DTMs)*, е основа за изучаването на релефа, геоморфологията и процесите протичащи не само на сушата, но и под водата. Развитието на изследванията чрез съставяне на модели на морфодинамичните условия в бреговата зона налага разделителната способност на входните геопространствени данни да бъде сведена под 1 m. В световен мащаб *Wölfl et al.* [42] отчитат значителния прираст на батиметричните данни за изключителните икономически зони. От друга страна все по-голямо внимание се обръща на плитководните части. Гореспоменатите традиционни дистанционни методи за заснемане на релефа като лидарно заснемане, батиметрично лидарно заснемане, многолъчево и сонарно заснемане, невинаги са финансово рентабилни и реализуеми за малки по обхват или плитководни зони. Скъпоструващите спътникови дистанционни методи стимулират бързото развитие на безпилотното въздушно заснемане (БВЗ) през последното десетилетие. В световната научна практика, дистанционно-управляемите БЛС *(Безпилотно-летящи системи- Unmanned Aerial Systems/Vehicles – UAS/UAV* или *Remotely-Piloted Aerial Systems - RPAS)*, наричани още дронове, навлизат с изключително бързи темпове в картографирането.

3. Съвременни батиметрични изследвания на БЧКЗ

Информацията за създаване на батиметричните карти показва, че те са резултат основнона заснемане чрез еднолъчеви ехолоти. 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 за картиране на ивици от морското дъно с определена ширина *(swath-bathymetric mapping)* позволяват цялостно покриване на района на изследване. Така наречените многолъчеви ехолоти *(multibeam echosounders)* 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 еднолъчеви ехолоти. С тези си качества многолъчевото заснемане придобива първостепенно и решаващо значение в почти всички сфери на съвременните изследвания на морското дъно.



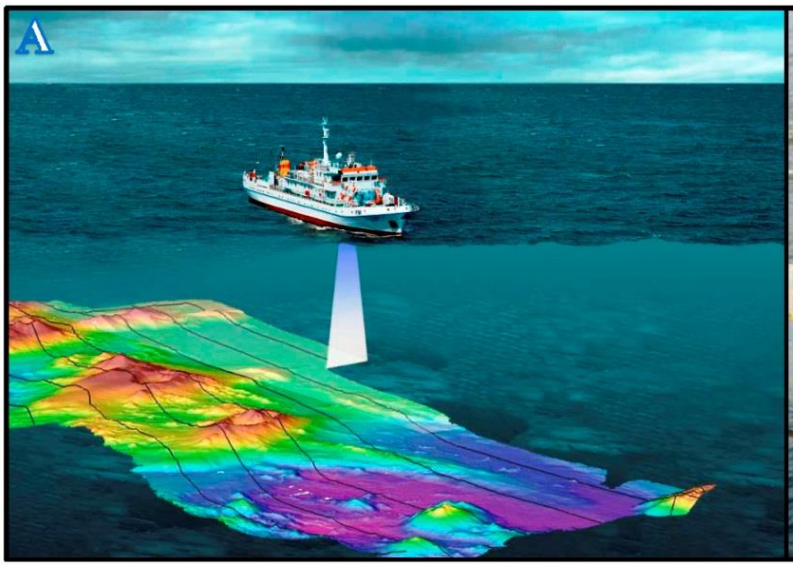
Типове покритие	Площ [km]	Процентно покритие [%]
5%	755	46.51
25%	5	0.31
75%	593	36.54
100%	270	16.64

Фигура 1. Пространствено и процентово разпределени на батиметричните данни в БЧКЗ

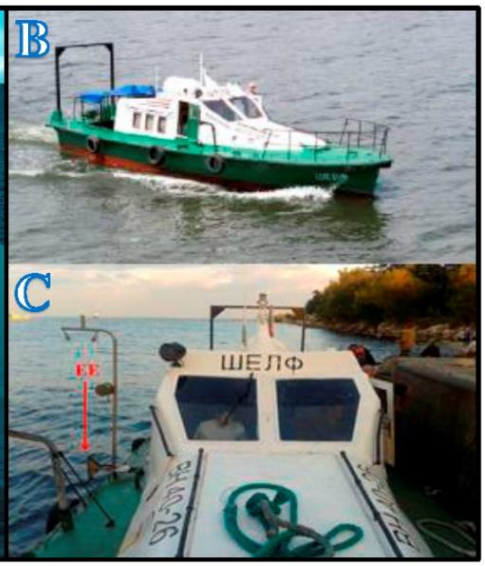
Изследвания с еднолъчев ехолот. За съжаление, по-голямата част от БЧКЗ не е пълноплощно картирана. През 2013 г. МОСВ на Република България възлага на ИО-БАН изготвянето на „Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ)“. Извършено е батиметрично заснемане на крайбрежните морски води на Република България. Записите са по предварително определени профили (промерни линии) с разстояние между тях 500 м. Общата дължина на промерите е над 3 500 км, като от около 1 700 км са направени в плитководната част до 20 м дълбочина с М/К „Шелф”, а 1 800 км от НИК „Академик” [7].

Макар и рядко в научната литература се срещат малки площи с еднолъчев ехолот: заснемане на плитки части от Варненско-Белославски езерен комплекс [20], прилежащото дъно пред научно-изследователска база на ИО-БАН в село Шкорпиловци [18], първата батиметрична снимка на езеро Узунгерен [9].

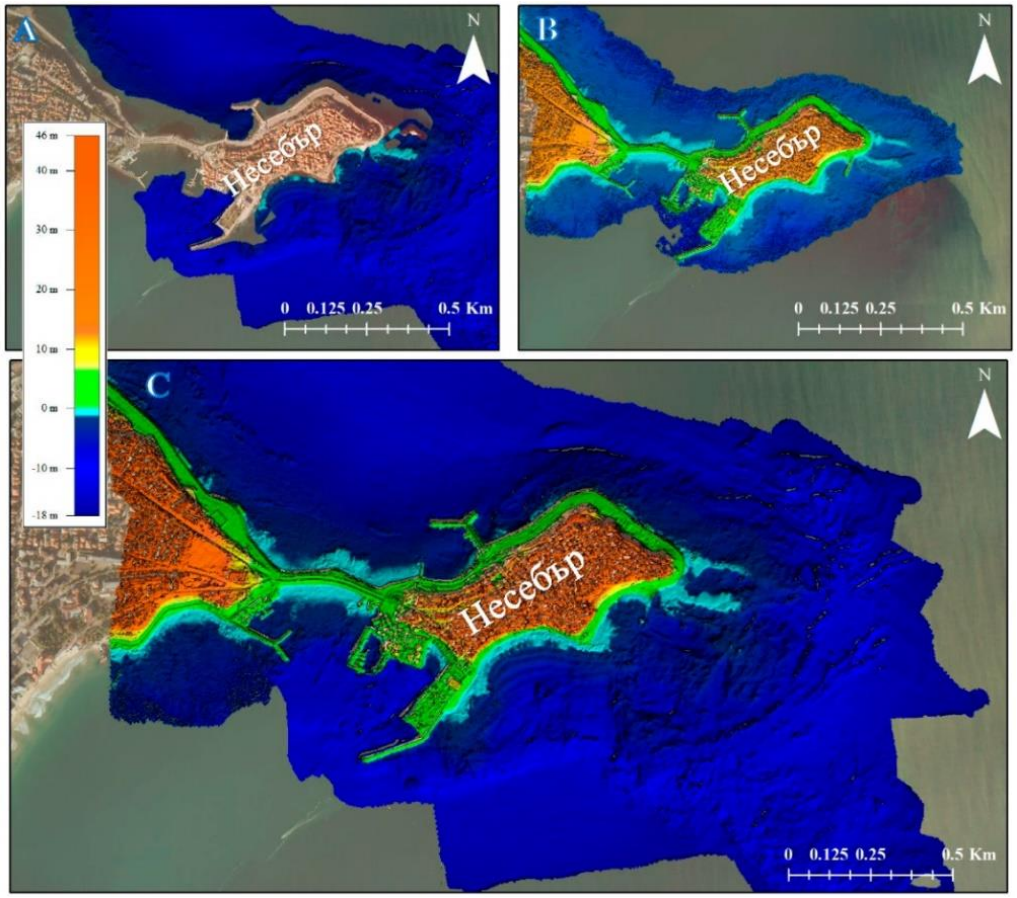
В рамките на БЧКЗ най-разпространени са изследвания с ***многолъчеви ехолоти (МЕ) или многолъчеви сонарни системи (МСС)***. Широкото им приложение в геологията [5], [6], [11], [33], [34] и геоморфоложкото картиране [4], [19], [21], [32], [35] дава допълнителна информация при изследването на подводното археологическо наследство [26], [27]. МЕ и МСС са основен инструмент при изследването на геоложката структура при картиране на подводни местообитания и изследване на екологично състояние [2], [10], [23], [28], [38] и др.



Фигура 2А. М/К АКАДЕМИК с активирана многолъчева сонарна система, използвана от Институт по океанология-БАН [4]



Фигури 2В и 2С. Хидрографски катер „Шелф“, оборудван с еднолъчев ехолот (Институт по океанология-БАН) [4]



Фигура 3. Дигитални модели на релефа на Несебърски залив (А) батиметричен модел; (Б) Безпилотна въздушна фотограметрия; (В) цялостен модел на релефа на Несебърски залив [27], [31].

Безпилотно въздушно фотограметрично заснемане (БВФЗ) - напоследък основен инструмент за получаване на актуална информация за брегове форми [29], [30], [36] и др. Към настоящия момент са генерирани ДМП с разделителна способност под 0.5 м/пиксел на повече от 140 л.км (>30%) от БЧКЗ [31]. Фотограметричните изображения за извличане на ДМР, ортофото мозайки (ОМ) и триизмерни (3D) фотореалистични модели са използвани за анализ на надводните и подводни морфоложки форми [29], [30], [31], оценка на уязвимостта на БЧКЗ към риск от щурмови явления [41] и емпирични изследвания [13] за картиране на природни местообитания [8], [17], практико-приложни цели в морската археология и геофизика [19], [20], [27], [28], и др.

Заключение

Представените изследвания, методологията на картиране, заснетата площи и съставените дигитални модели на морското дъно, представляват 16% - изключително малка площ от 270 km^2 акваториалната част на българската черноморска крайбрежна зона. Това е един от недостатъците, очертаващи се като основна слабост в геоложката изученост на бреговата зона. Въпреки навлизането на алтернативни дистанционни методи като безпилотното въздушно фотограметрично заснемане, то е аргументирано до дълбочина от около 3м. Понастоящем, генерирания цялостен дигитален модел на релефа на дъното позволява анализиране единствено на ясно изразени морфоложки форми. За постигане на дигитален модел с висока разрешителна способност следва да се заложи приоритетно на многолъчевите сонарни изследвания, подкрепени с фотограметрично заснемане на плитководието. Именно това е отправната точка към съставянето на актуални геоморфоложки и субстратни карти на българската черноморска крайбрежна зона и континентален шелф.

Благодарности

Представените изследвания са финансирани в рамките на проект „Мултидисциплинарно изследване на Бургаски залив - МИДБАИ (Съставяне на детайлен цифров модел на релефа на дъното с анализ на съвременните геоморфоложки условия и археологическо прогнозно моделиране)“, финансиран от Фонд „Научни изследвания“ при Министерство на образова-ние и науката, Договор № КП-06 ПН-34/2. Авторите изказват искрени благодарности за съветите и помощта на ръководителя на проекта – Проф, д-р инж. Любомир Димитров от Институт по океанология – БАН. Специални благодарности на гл. ас. д-р инж. Богдан Проданов (ИО-БАН) и д-р Найден Прахов (ЦПА-Созопол) за предоставените данни и съвети при подготовката на доклада.

Литература

1. Ламбев, Т., Л. Димитров, Б. Проданов, Е. Борисова. Използване на дистанционни методи при картографиране на черноморското крайбрежие. Proc. of the V Int. Scientific and Technical Conference “Geology and Hydrocarbon Potential of the Balkan-Black Sea Region”, Varna, Bulgaria, 2017, pp. 63-70.
2. Проданов, Б. Геоложка основа при картиране на дънни местообитания в Българския континентален шелф пред Авренското крайбрежие. Дисертация за придобиване на образователната и научна степен „Доктор“, Научен фонд на Институт по океанология – БАН, Варна, 2017, 163.
3. Проданов, Б., И. Коцев, Т. Ламбев, Л. Димитров. Приложение на безпилотното въздушно фотограметрично заснемане в картирането на Българската крайбрежна зона и подводния релеф, Списание „Геодезия, Картография, Земеустройство“, кн. 1-2, 2020, 31-38. https://doi.org/10.5281/zenodo.4035023
4. Проданов, Б., Л. Димитров. Интегрална гео-база данни за акваторията на Авренското крайбрежие (нос Галата – нос Иланджик). Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, 59(1), 2016, 99-104.
5. Проданов, Б., Л. Димитров. Морфо-литоложка характеристика на шелфа пред Авренското крайбрежие. Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски”, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, 2015, 73-78.
6. Проданов, Б., Л. Димитров. Приложение на многолъчеви сонарни системи в геоложкото картиране на дънните седименти в крайбрежната зона пред плаж Паша дере, Северно Българско Черноморие. Годишник на Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски“, т. 58, Св. I, Геология и геофизика, 2015, 67-72.
7. Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ). Институт по океанология – БАН, Договор № 0-33-18 / 12.06.2013.
8. Bekova, R., B. Prodanov, M. Panayotova, T. Panayotova. The influence of environmental condition of Varna and Burgas bays on population-biological parameters of Mullet's species (Mugil cephalus, Chelon auratus and Chelon saliens). Proc. 14th Int. Conference on Marine Science and Technology "Black Sea", 2018, pp. 180-186.
9. Bekova, R., B. Prodanov, T. Lambev. Mullets and the impact of the environmental status of Burgas Bay on their populations. Annual of Sofia University "St. Kliment Ohridski”, Book 4, vol.4, 2019, pp. 62-69.
10. CoCoNet: towards coast to coast networks of marine protected areas (from the shore to the high and deep sea), coupled with sea-based wind energy potential., The CoCoNet Consortium, SCIRESit, SCIentific RESearch and Information Technology, (6), 2016, e-ISSN 2239-4303, DOI 10.2423/i22394303v6SpI, p.95, http://caspur-ciberpublishing.it.
11. Dimitrov, L., B. Prodanov, V. Doncheva, D, Berov, E. Trifonova. Seabed mapping of the Bulgarian coastal zone between Sozopol and Tsarevo (Southern Bulgarian Black Sea). Comptes rendus de l’Academie Bulgarie des Sciences, 72(5), 2019, pp.634-640.

12. Eakins, B.,G. Sharman. Volumes of the World's Oceans from ETOPO1. Boulder, CO: NOAA National Geophysical Data Center, 2010.
13. Eftimova, P., N. Valchev, B. Prodanov, N. Andreeva, T. Lambev, L. Dimitrov. Assessment of empirical relationshios between beach-face slopes and sediment sizes using field data (Burgas Bay Case). Proc. of 1st International conference on ENVIROnmental protection and disaster RISKs, 2020.
14. Glenn, M. Introducing an operational multi-beam array sonar. Int. Hydrogr. Rev. 47:35, 1970.
15. Guenther, G. C., Cunningham, A. G., LaRocque, P. E., & Reid, D. J. Meeting the accuracy challenge in airborne bathymetry. National Oceanic Atmospheric Administration/Nesdis Silver Spring MD, 2000.
16. Irish, J., T., White, Coastal engineering applications of highresolution lidar bathymetry. Coast. Eng. 35, 1998, pp. 47–71. doi: 10.1016/S0378-3839(98)00022-2.
17. Kotsev, I., B. Prodanov, T. Lambev, R. Bekova. UAS-based mapping of depositional landforms along the North Bulgarian Black Sea coast in support of nature conservation. Proc. SPIE 11524, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 1152426, 2020, https://doi.org/10.1117/12.2571907
18. Kuznetsova, Ya., M. Shtremel, S. Kuznetsov, D. Karzinin, E. Trifonova, N. Andreeva, N. Valchev, B. Prodanov, P. Eftimova, T. Lambev, L. Dimitrov. Dynamics of sandy beach in dependence on wave parameters. Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources. Taylor & Francis Group, London, 2017, pp. 1075-1079.
19. Lambev, T., B. Prodanov, L. Dimitrov, I. Kotsev. Digital bathymetric model of the Broad Burgas Bay (Bulgarian Black Sea). Proc. SPIE 11524, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 1152421, 2020, https://doi.org/10.1117/12.2571101.
20. Lambev, T., B. Prodanov, L. Dimitrov, I. Kotsev. Digital terrain model of the Varna and Beloslav Lakes (North Bulgaria Black Sea Coast). Proc. SPIE 11524, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 1152422, 2020, https://doi.org/10.1117/12.2571104.
21. Lambev, T., B. Prodanov, Digital terrain model of the seafloor of South Bulgarian Black Sea Coast. 10th Congress of the Balkan Geophysical Society (BGS2019), European Association of Geoscientists & Engineers, Vol.1, 2019, pp.1-6.
22. Lurton, X. An Introduction to Underwater Acoustics, Principles and Applications. Cham: Springer, 2002.
23. Marine Seabed Habitat Baseline Study. South Stream Gas Pipeline Project Surveys Report, Environmental Impact Assessment, 2013, p. 47.
24. Mayer, L. Frontiers in seafloor mapping and visualization. Mar. Geophys. Res. 27, 2006, 2006, pp. 7-17, doi: 10.1007/s11001-005-0267-x.
25. Pe'eri, S., C. Parrish, C. Azuike, L. Alexander, A. Armstrong, Satellite remote sensing as reconnaissance tool for assessing nautical chart adequacy and completeness. Mar. Geod. 37, 2014, pp. 293–314, doi:10.1080/01490419.2014.90 2880
26. Peev, P., B. Prodanov. Geoarchaelogical research in the area of the Cape Shabla using unmanned aerial vehicles, North Bulgarian Black Sea Coast. Proc. of 1st International conference on ENVIROnmental protection and disaster RISKs, 2020.
27. Prahov, N., B. Prodanov, K. Dimitrov, L. Dimitrov, K. Velkovsky. Application of Aerial Photogrammetry in the Studies of Underwater Archaeological Heritage of Nesebar. Proceedings of International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020.
28. Prodanov, B., I. Kotsev, L. Dimitrov. Seascape-based modelling of Benthic Habitats Spatial Distribution. Case Study: Avren Plateau Sublittoral Zone, Bulgarian Black Sea. Proc. 12th Int. Conference on Marine Science and Technology "Black Sea" Varna, 2014, pp. 196-201.
29. Prodanov, B., I. Kotsev, T. Lambev, L. Dimitrov, R. Bekova, D. Dechev, Drone-based geomorphological and landscape mapping of Bolata Cove, Bulgarian coast, Sustainable Development and Innovations in Marine Technologies, Georgiev & Guedes Soares (Eds.). Taylor & Francis Group, London, 2019, pp. 592-598.
30. Prodanov, B., I. Kotsev, T. Lambev, L. Dimitrov. 3D high-resolution mapping and identification of coastal landforms using unmanned aerial vehicles. Case study: Shabla Municipality coastal sector, Bulgaria. Proc. SPIE, Eighth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2020), 1115242D, 2020.

31. Prodanov, B., I. Kotsev, T. Lambev, R. Bekova, Unmanned Aerial Vehicles for surveying the Bulgarian Black Sea Coast. Comptes rendus de l'Academie Bulgarie des Sciences, 73(5), 2020, pp. 666-672, http://doi.org/10.7546/CRABS.2020.05.09.
32. Prodanov, B., L. Dimitrov, N. Andreeva, S. Keremedchiev. Geomorphological setting of the coastal zone between cape Galata and cape Paletsa, Bulgaria Black Sea. Comptes rendus de l'Academie Bulgarie des Sciences, 70(8), 2017, pp.1137-1142.
33. Prodanov, B., L. Dimitrov, V. Doncheva, T. Lambev. Integrated geodatabase for the coastal zone between Sozopol and Tsarevo (South Bulgarian Black Sea coast). Journal of Mining and geological sciences, vol.61, Part I, Pavel Pavlov (Eds.), Publ. House "St. Ivan Rilski", 2018, pp. 17-23.
34. Prodanov, B., L. Dimitrov. Morphology of the Strandzha Coastal zone, Southern Bulgarian Black Sea Coast. In Proceedings of International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 2020.
35. Prodanov, B., St. Keremedchiev, L. Dimitrov, N. Andreeva. Seabed Morphology of the Varna Bay coastal zone, Bulgarian Black Sea. Comptes rendus de l'Academie Bulgarie des Sciences, 72 (8), 2019, pp. 1078-1085.
36. Prodanov, B., T. Lambev, R. Bekova, I. Kotsev, Applying Unmanned Aerial Vehicles for high-resolution geomorphological mapping of the Ahtopol coastal sector (Bulgarian Black Sea Coast). Proceedings of International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 19 (2.2), 2019, pp. 465-472.
37. Renard, V., J. Allenou, SeaBeam multibeam echo sounding in jean charcot: description, evaluation and first results. Intern. Hydrog. Rev. 1, 1979, pp. 35–67.
38. Todorova, V., L. Dimitrov, V. Doncheva, E. Trifonova, B. Prodanov. Benthic Habitat Mapping in the Bulgarian Black Sea. Proceedings of 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment (MEDCOAST 2015), vol.1, Varna, 2015, pp. 251-262.
39. Smith, W., K. Marks, T. Schmitt, Airline flight paths over the unmapped ocean. EOS 98, 2017.
40. Theberge, A. Sounding pole to sea beam, Annual Convention Surveying and Cartography, (Silver Spring, MD: NOAA Central Library), 334–346. 1989.
41. Valchev, N., N. Andreeva, P. Eftimova, B. Prodanov, I. Kotsev, Assessment of vulnerability to storm induced flood hazard along diverse coastline settings. Proceeding of E3S Web Conf. (7), 2016, 11.
42. Wölfl A-C, Snaith H, Amirebrahimi S, Devey CW, Dorschel B, Ferrini V, Huvenne VAI, Jakobsson M, Jencks J, Johnston G, Lamarche G, Mayer L, Millar D, Pedersen TH, Picard K, Reitz A, Schmitt T, Visbeck M, P. Weatherall, R. Wigley, Seafloor Mapping – The Challenge of a Truly Global Ocean Bathymetry. Front. Mar. Sci. 6:283, 2019, doi: 10.3389/fmars.2019.00283.