https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N9

Marine geophysical survey in the water area of NATURA 2000 - Sozopol, Bay Sozopol - o. St. Ivan – cape Chrisosotira village, town of Chernomorets.

Kiril Velkovski[1]

[1] KV Solutions Ltd. Sofia 1113, Iztok quarter, 3 Nezabravka Str., Bl. 49, kvelkovsky@gmail.com
Center for Underwater Archeology, Sozopol - Associate Member, Sozopol, 1 Apolonia Str.

Keywords: Marine geophysics, Multibeam bathymetry, Subbottom profiler, Side scan sonar, Terrain model, Paleo-geographical reconstruction.

Summary

The article presents result of marine geophysical surveys using a set of remote sensing methods performed in the waters of the northern bay between peninsula of Sozopol town, st. Ivan island and cape Chrisosotira at Chernomorets, conducted in the period 2014 - 2018.
A brief overview presents studies conducted until 2014 on the geomorphological genesis of the bay, which are mainly related to the activities of the Center for Underwater Archeology, Sozopol and specially to determine the geomorphological development of the bay over the past 8000-10000 years.
Chronologically are presented highlights from various field surveys conducted during the period 2014 - 2018.
A set of used methods and equipment with a brief description of the data processing and results is presented. The article demonstrates a complexation of different geophysical methods and processing of results in 4D environment as a common platform for analysis.
Particular attention is paid to the geological interpretation of the processed data.
At the end of the article, the author allows himself in the form of a discussion to present a hypothetical reconstruction of the flooding of the paleo-terrain of the bay from the sea.

Морско геофизично проучване в акваторията на НАТУРА 2000 – гр. Созопол, залива гр. Созопол - о. Св. Иван – н. Хрисосотира, гр. Черноморец.

Кирил Велковски[1]

[1] „КВ Солюшънс“ ЕООД, София 1113, кв. Изток, ул. „Незабравка“ 3, бл.49, kvelkovsky@gmail.com
Център за подводна археология, Созопол - асоцииран член, Созопол, ул. „Аполония“ №1

Ключови думи: Морска геофизика, Многолъчева батиметрия, Поддънен профилограф, Странично сканиращ сонар, Теренен модел, Палео-географска реконструкция.

Резюме

Статията представя резултати от морски геофизични проучвания проведени с комплекс от дистанционни методи на проучване изпълнени в акваторията на северния залив на гр. Созопол до н. Хрисосотира, гр.Черноморец, проведени в период 2014 – 2018 година.
В кратък обзор са представени изпълнени до 2014 проучвания за геоморфоложкия генезис на залива, които основно са свързани с дейността на Центъра за подводна археология и най-вече да бъде установено геоморфоложкото му развитие през последните 8000-10000 години.
Хронологично са представени основни моменти от различни теренни проучвания изпълнявани през периода 2014 – 2018 години.
Представен е комплекс от използвани методи и уреди с кратко описание на изпълнени обработки на получените данни и резултати. Демонстрира се комплексиране на различни геофизични методи и обработка на резултати в 4D среда, като обща платформа с цел анализ.
Особено внимание е обърнато на геоложката интерпретация на получените данни.
В края на статията автора си позволява под формата на дискусия да представи хипотетична реконструкция на заливането на палео-терена на залива от морето.

Въведение

В период от 4 последователни години от 2014 до 2018, в няколко различни етапа и инициативи бяха проведени серия детайлни морски геофизични проучвания в района на северния залив на гр. Созопол: къмпинг „Златна рибка“ – о. Св. Иван – Черноморец (н. Хрисосотира) – къмпинг „Градина“, Фиг.1.

Интереса към детайлно обследване и евентуална последваща геоморфоложка интерпретация е провокиран основно по археологически причини в следствие направени в миналото разкрития на праисторическо селище в пристанището на гр. Созопол, както и данни за други такива в района на залива.

Формалните причини за проведените проучвания през годините са различни и свързани главно с инвестиционни интереси или екологични задачи, но придобиваните данни съпътстващо са използвани и за анализ и постигане на резултати в следните посоки:

- Получаване на детайлни данни и информация за релефа на морското дъно с помощта на многолъчев ехолот и с цел изграждане на високо детайлен теренен модел на дъното за района.
- Получаване на детайлно и пълно покритие на района със странично сканиращ сонар с цел изграждане на обща „мозайка“ с текстурата на дъното, както и извличане на допълнителна геокодираща информация за типовете седименти и тяхното площно разпределение.
- Получаване на относително детайлна информация за структурата и дебелината на седиментите в района с дълбочинност на проучване 10-30 метра на база профилиране с поддънен профилограф.
- Последващ анализ на получените данни и изграждане на теренен модел на основната подложка под седиментите с цел изграждане на хипотеза за палео-морфоложкото развитие на района.
- Цялостно обединяване на всички получени данни в обща 4D среда даваща възможност за комплексно интерпретиране на получени резултати в различни аспекти и за различни цели.

В геоложки аспект залива е относително добре проучен и документиран, но от археологическа и екологична гледни точки получените данни и заключения са твърде едромащабни за конкретни цели, който факт провокира нуждата от придобиване на свръх детайлни данни за района и изграждане на конкретни локални хипотези за геоморфоложкото му развитие.



Фигура1. Район на проведени детайлни проучвания – НАТУРА 200, Созопол.

От друга страна съществуват множество по-ранни проучвания опитващи се да дадат светлина на конкретни поставени въпроси относно развитието на залива в през хилядолетията, като проучванията и разработките са проведени от:

- Лабораторията по археометря към бившия Институт по Тракология БАН работи в района от 1986 г. до самото си закриване.
- Проучванията на експедиция Космос в района на скалното ребро Созопол – о. св. Иван.
- Проучванията от Центъра за подводна археология с участието на професор Прайзингер и други, и съвместно с Института по океанология, БАН.

Като предимството в настоящата разработка се приема използването на комплекс от геофизични методи на проучване със свръх високата степен на детайлност и плътност на получени данни, позволяващи изграждане на значително по-ясна и детайлна представа за района в микро и макро аспект. Особен принос се внася от използването на поддънен профилограф с висока степен на плътност на проучване, което позволява постигане на детайлност на данните и дава значително по-добра основа за геоложко и геоморфоложко интерпретиране на получените данни.

Настоящата разработка не претендира за окончателно решение на въпроса за геоморфоложкото развитие на залива, тъй като за целите на такова са необходими още множество проучвания от друг характер, като ядково сондиране и лабораторни анализи, които все още не са проведени. За съжаление опитите за придобиване на материал за анализ от перспективни целеви зони в залива, проведени през 2016 година от МК “Stril Explorer” и по време на активния сезон на 2017 г на експедиция „Черноморски археологически проект“ (Black Sea MAP.) останаха без съществен успех.

Но разработката предлага основа за изграждане на базова хипотеза за геоморфоложкото развитие на залива конструирана на реално измерени геофизични данни, която хипотеза отразява вероятния генезис на залива в епохите, без обаче конкретно да дава възможност за точна датировка на описаните събития към момента.

Разработката на залива включва и използване на данни преди периода 2014 – 2018 години, и за това по-долу хронологично са дадени основните моменти от теренни проучвания и получени данни, чийто резултати са взети предвид.

В рамките на статията са показани само една малка част от получените резултати с илюстративна цел, но всички получени и обработени данни, резултати и различни материали са оформени в обща база данни, част от базата данни на Центъра за подводна археология, Созопол.

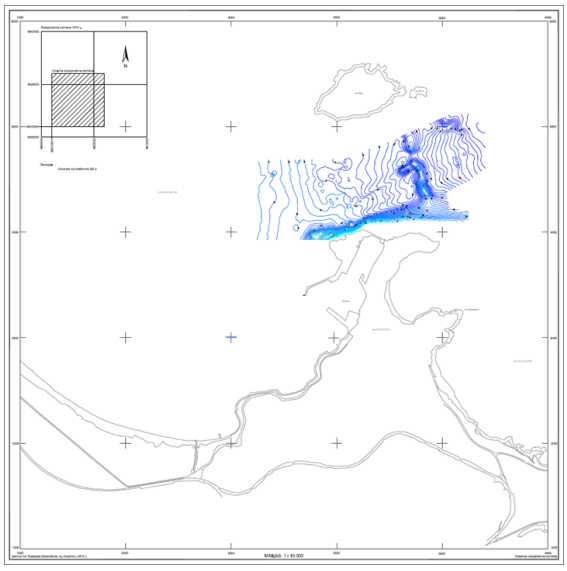
Хронология на проведени теренни изследвания и получени резултати взети предвид в настоящата разработка.

1989-1995 г.

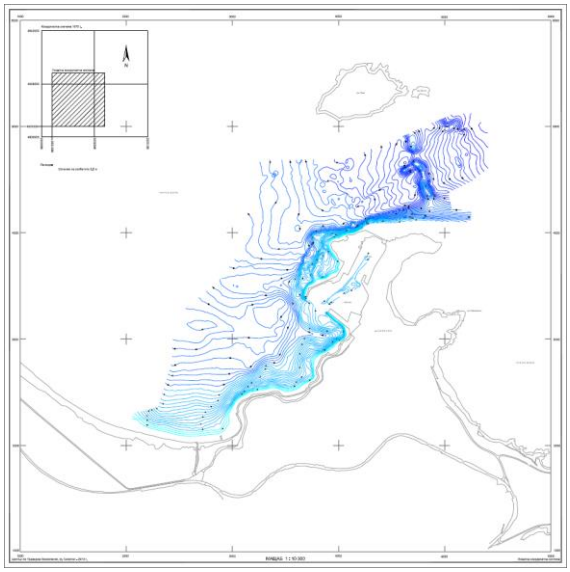
Лаборатория Археометрия, Институт по Тракология БАН, Център за подводна археология Созопол, Институт по Океанология БАН – Експедиция „Василико“ 1991 г. Батиметрично измерване с еднолъчев ехолот и сканиране със странично сканиращ сонар в района на канала между о. Св. Иван и Созопол. Фиг.5.а.

2013 г.

Проучвания проведени от Центъра за подводна археология с използвани еднолъчев ехолот и странично сканиращ сонар с цел придобиване на батиметрични данни в източната част на залива. Фиг.5.б.



Фигура 5.а. ЦПА 1991 г. - Експедиция „Василико“



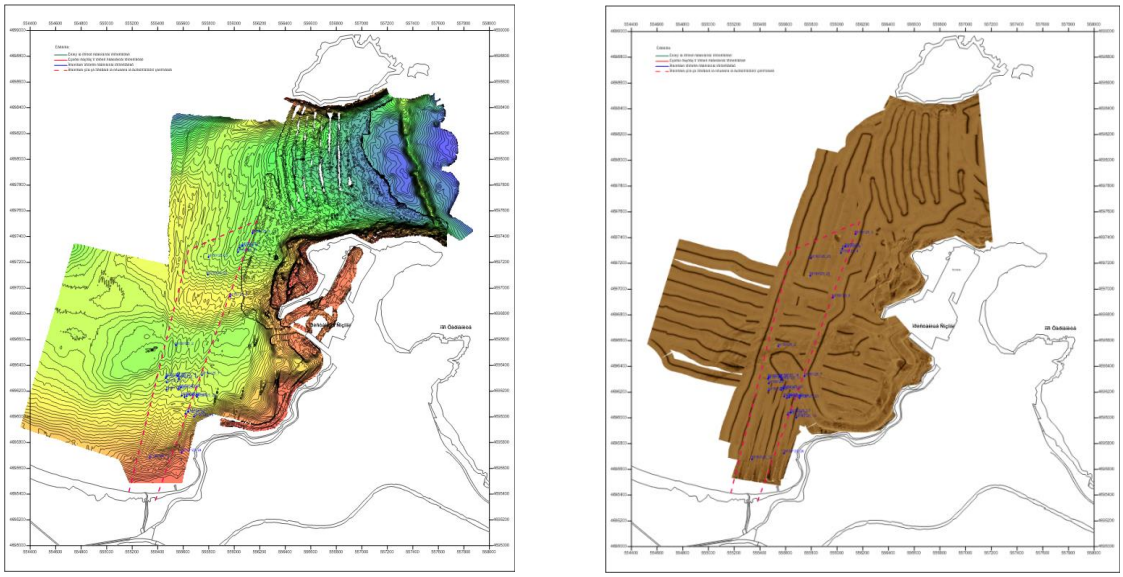
Фигура 5.б. ЦПА 2013 г.

2014 година.

В периода Септември – Ноември в рамките на декада не последователни дни с помощта на моторната лодка на Центъра за подводна археология оборудвана в 2 стандартни конфигурации: многолъчев ехолот / странично сканиращ сонар и поддънен профилограф / странично сканиращ сонар са направени серия от систематични промени в зоните от къмпинг „Златна рибка“ до о. Св. Иван и в пролива между о. Св. Иван и полуострова на гр. Созопол, Фиг. 6. Формалното реализиране на проучването е провеждане на предварително подводно археологическо проучване в зоната по трасето на предстоящо полагане на дълбоководно заустване на пречиствателна станция Созопол.

Общата проучена площ е с размер около 5.5 кв.км, като в това число са ползвани и данни от предходни проучвания на центъра за подводна археология съвместно с Института по Океанология БАН в размер на около 2.5 кв.км.

Използвани са многолъчев ехолот, странично сканиращ сонар и поддънен профилограф.



Фиг. 6. 2014 г. Център за подводна археология.

Обща покрита площ с батиметрични измервания и създаден теренен модел-ляво. Покритие със странично сканиращ сонар-дясно.

На база на получените данни от проведените батиметрични измервания е съставен теренен модел с разделителна способност 2х2 м. за зоните покрити с многолъчев ехолот и 10х10 метра за зоните покрити с еднолъчев ехолот или профилограф.

Проведени са профилирания с поддънен профилограф по мрежа с отстояние между профилите от 50 до 100 метра. Общо са направени 38 профила основно в рамките на проучваната целева площ по трасето на тръбата, като 3 профила са проучвателни с разположение между о.Св. Иван и н.Хрисосотира, успоредно на н. Хрисосотира до залива на къмпинг Градина, и успоредно на брега от къмпинг Градина до къмпинг Златна Рибка. В зоната на канала Созопол о. Св. Иван са направени 4 профила. Получените профилограми са обработени, изготвена е частична интерпретация на подложката на седиментите по данни от профилограмите, като е съставен частичен теренен модел за района на покритие.

Полученото със странично сканиращ сонар покритие е плътно по цялата проучвана площ с препокриване на записите от 20% до 100%. Изградена е „мозайка“ на текстурата на дъното за района на проучване с разделителна способност 20х20 см. Отделени са множество цели с потенциален интересни от археологическа и геоложка гледна точка по дъното на морето. Част от маркираните цели са проверени и потвърдени с водолазни огледи.

2015 година.

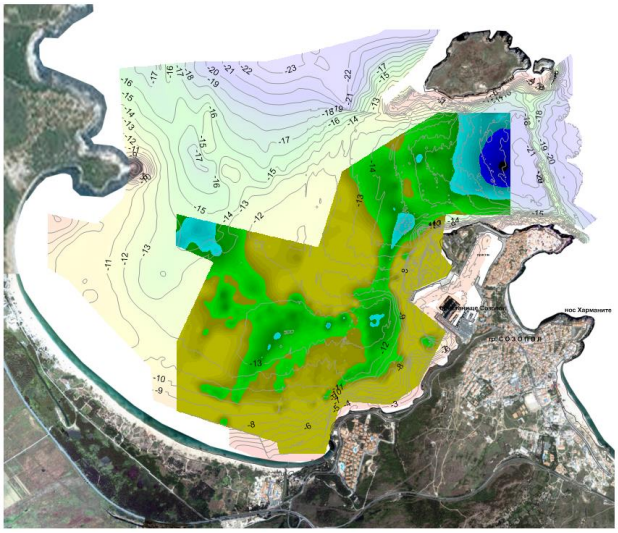
Основно са обработвани получените данни от предходните години и спорадично са направени кратки допълнителни измервания с поддънен профилограф и странично сканиращ сонар с цел сгъстяване на придобитите в геоложки аспект данни в зоната о. Св. Кирик – н. Хрисосотира.

2016 година.

Основното проучване е съсредоточено в източната част на залива непосредствено южно от пристанище Созопол до залива на къмпинг „Златна Рибка“. Формалната причина е провеждането на детайлни батиметрични измервания с цел инвестиционен интерес за изграждане на ново яхтено пристанище към пристанище Созопол.

Проучени са около 0.5 кв.км пряко свързани с поставената задача и свръх висока степен на плътност на получени данни, както и са направени множество допълнителни профили с поддънен профилограф в зоната между пристанище Созопол и н. Хрисосотира през целия залив.

Изготвени са свръх детайлни батиметрични модели на проучваната площ с разделителна способност 0.5х0.5 метра. Проведени са контролни измервания в зоните на съчетаване на различни по време придобити данни основно с цел изравняване, сгъстено е покритието с многолъчев ехолот в зоната на пролива между полуострова на гр. Созопол – о. Св. Иван



Фигура 7. 2016 г. Първи теренен модел на дъното на база всички добити данни и първи теренен модел на грунда под седимента по данни от поддънен профилограф.

Получените данни са обработени и на база данни от предходни години и новите придобити са изградени общ батиметричен теренен модел за района на залива с 80% покритие и резолюция 20x20 метра и базов теренен модел на подложката на седиментите за източната част на залива Созопол.

Създадена е първоначална хипотеза за потенциалното палео-трасе на р. „Патовска“ през различните етапи на геоморфоложко развитие на залива. Изведена е работна хипотеза за наличие в миналото на воден басейн от езерен/блатен тип в зоната между къмпинг „Златна Рибка“ и о. Св. Кирик, като е изведена и хипотезата, че основния отток на водите в най-ранен етап от развитието на залива не е било както се предполага покрай о. Св. Кирик в посока пролива Созопол - о. Св. Иван, а по-скоро в посока към н. Хрисосотира и от там вероятно на север, Фиг.7.

През Септември в рамките на морски археологически проект „Черно Море“ (MAP Black Sea) сезон 2016 в залива е въведен МК “Stril Explorer” с цел да бъдат взети проби с ядково сондиране от предварително набелязани места корелиране с придобитите данни и проверка на работните хипотези. За съжаление опитите се оказват неуспешни поради спецификата на грунда на дъното и отказ на оборудването.

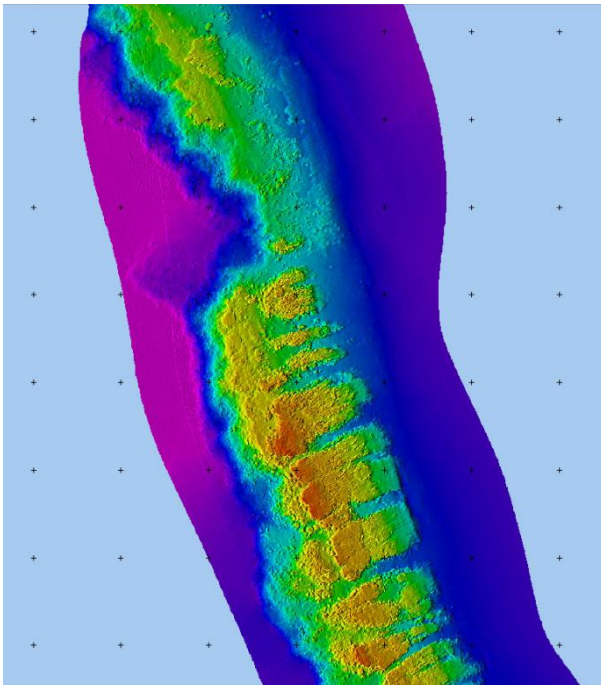
2017 година

Спорадично са допълвани данни основно с профилограф и странично сканиращ сонар, като основната цел е сгъстяване на наличните вече данни в различни части на залива.

2018 година

В 3 етапа свързани с 3 различни формални задачи данните за залива са напълно допълнени и сгъстени както следва:

Април-Май 2018 – в рамките на 4 работни дни по време на тестови и демонстрационни проучвания са уплътнени данните покрай о. Св. Кирик и полуострова на Созопол, като е заснето и скалното ребро между о. Св. Иван и Созопол. Направени са тестови измервания с използване на новата плавателна платформа на Центъра за подводна археология Созопол - МК „Христина“, като целта е да се тества работата на всички уреди на борда, да се синхронизират и да се видят възможностите на кораба и готовността му за оперативна работа. Същевременно е предприето демонстрационно измерване с многолъчев ехолот RENSON T20 в рамките на 2 работни дни, като приноса на това проучване се състои в проведени демонстрационни свръх детайлни проучвания с разделителна способност 0.1x0.1 м. гъстота на измерване в реално време, Фиг. 8.



Фигура 8. Резултат от пробно сканиране с многолъчев ехолот със свръх висока гъстота на измерване 0.1x0.1 м матрица, 2018 г. Част от скалното ребро между о. Св. Иван и полуостров Созопол.

Юни 2018 по време на 2 дена демонстрации с учебна цел в района на залива на къмпинг „Градина“ и къмпинг „Златна Рибка“ е събрана допълнителна информация със странично сканиращ сонар и поддънен профилограф, като целта е да има предварителна опознавателна информация за западната част на залива пред къмпинг „Градина“ и н. Хрисосотира, както и за района на н. Хрисосотира – о. Св. Иван във връзка с изпълнение на конкретен проект за района.

Юли 2018 г. е изпълнено основно проучване на залива. Формалната причина е договор за изготвяне на батиметрична и субстратна карта на залива за акваторията на НАТУРА 2000 зона в пределите залива: гр. Созопол, о.св.Иван, северно н. Хрисосотира, залива „Градина“ – „Златна Рибка“.

По време на теренните измервания залива е напълно покрит с многолъчев ехолот, като особено внимание е отделено на зоните покрай брега и дълбочинните рифови зони или места със скали и други формирования по дъното.

Изпълнени са регулярни профили с профилограф на дистанция през 100 метра или по-малко според нуждата в двете основни посоки север-юг / изток-запад условно, като в допълнение са прекарани сгъстяващи профили в места където е необходимо съгласувано с предишно придобити данни.

Завършена е цялостно територията на сканиране на залива със странично сканиращ сонар.

Получените данни са изчистени от грешки и са обработени като са създадени следните модели:

- Теренни модели на дъното на залива;
- Теренни модели на дъното на залива обединен с теренен модел за близката околност на суша;
- Растерна „Мозайка“ от получените сонограми със странично сканиране;
- Карта с отделените субстратни видове;
- 4D модел с всички профилограми от поддъния профилограф;
- Теренен модел изграден на база получени данни от профилограми за подложката на седиментните слоеве.

Всички придобити данни са стандартно обработени първично съгласно прилагания геофизичен метод.

Придобитите информации са:

- Детайлна многолъчева батиметрия с покритие на 11 кв. км (11 000 000 кв.м) позволяваща резолюция на грид от 2x2 м. На места резолюцията е 1x1 или 0.5x0.5 м., в отделни зони 0.1x0.1 м.
- Пълно покритие със странично сканиращ сонар на над 11 кв.км. площ със средна резолюция 0.20x0.20 м./пиксел, като на множество места е промерено повече от един път.
- Карта със субстратните типове на дъното на база получена предварителна информация от Института по Океанология БАН и ново измерените данни.
- 144 профила със записи на поддънен профилограф с проникване между 6 и 20 метра и различна дължина на профилите от 5 км до под 100 метра.
- Изграден е 4D модел с всички придобити данни с цел анализ.
-

Използвани геофизични методи и апаратура

Основните ползвани методи са звукови дистанционни методи, като: детайлна батиметрия изпълнена с многолъчев ехолот, поддъно профилиране с параметричен профилограф и сканиране със странично сканиращ сонар.

В отделни случай е ползван еднолъчев ехолот, както и по-стари придобити данни с цел предварително опознаване и подготовка за провеждане на детайлни измервания.

За целите на набиране на данните е използван комплекс от следните уреди собственост на Центъра за подводна археология, Созопол:

- Многолъчев ехолот - MB1, Teledyne Marine – Odom;
- Еднолъчев ехолот BBT ES FLAMINGO R100DGR;
- Странично сканиращ сонар StarFish 450H;
- Параметричен поддънен профилограф SES 2000, Innomar Technology GmbH;
- DGPS Trimble SPSx61, GPS GARMIN
- Подходящи преносими и стационарни компютри оборудвани със съответния специализиран и с общо предназначение софтуер.

В допълнение са използвани и данни събрани с RESON T20 SeaBed като демонстрационен многолъчев ехолот.

За плавателна платформа са използвани основно два плавателни съда специално оборудвани за провеждане на морски геофизични и океанографски проучвания:

- Моторна лодка собственост на Центъра за подводна археология, Созопол;
- Моторен Кораб „Христина“ собственост на Центъра за подводна археология, Созопол.

И двата плавателни съда са специално оборудвани за провеждане на детайлни морски геофизични и хидроложки проучвания, както за инженерни така и за археологически цели.

Обработка на получени резултати и получени картни материали и модели.

Обработката на получаваните данни е водена по етапно в зависимост от конкретно поставените цели, но цялостна обработка и анализ на всички събрани данни е изпълнена основно през 2018 година и е представена в настоящия материал.

За целите на обработката е ползван комплекс от специализирани програми със съответните методики, а крайните получени резултати са комплексирани в обща ГИС среда.

За всеки завършен проект през годините е издаван самостоятелен доклад и набор данни съобразно поставените цели.

1. Батиметрични данни.

Първичната обработка е поетапна след всеки измервателен цикъл. Внасяни са корекции за прилив съобразно моментите на провеждане на измерванията и привеждане към единно нулево ниво.

Обединяването на данните в общ теренен модел е изпълнявано също поетапно по ред на придобиването им.

От всички придобити данни е създаден цялостен теренен модел на дъното за региона, като основния работен модел е с разрешаваща способност 2x2 м., от който са произведени различни варианти с гъстота 5x5 и 10x10 метра за различни цели.

Модела е на база измерени данни до 3 метра (безопасна дълбочина) и интерпелирани данни до прибойната зона.

Събраното и обработено количество данни за различни части на територията позволява на множество места да бъдат развити локални терени модели с разрешаваща способност под 1x1 м., а в отделни зони с резолюция 0.1x0.1 м.

Всичките теренни модели са обработени в множество файлови формати за различни цели на ползване: Grid Surfer, ASCII XYZ, DTM, GeoTIFF.

2. Странично сканиращ сонар.

Получените сонограми са конвертирани до XTF стандартен файлов формат. Всички получени тракове са обработени първоначално с нормализиране на сигнала и корекция на пътя, както и въвеждане на корекция за отместване спрямо позицията на координиращия DGPS.

XTF файловете са класифицирани по дата и час на запис и е създадена обща база данни.

От така получените файлове са изведени в отделна база данни растерни гео-реферирани изображения по тракове в KMZ и GeoTIFF формати, които могат да бъдат индивидуално разглеждани или обработвани.

Създадени са общи мозайки за целия район с разрешаваща способност на пиксела 0.2x0.2 м, 0.5x0.5 м., 1x1 м.

Всички създадени изображения са във формати KMZ и GeoTIFF.

За създаване на карта със субстратите на дъното от получените сонарни мозайки след прилагане на различни филтри е извлечена информация за типа/силата на отражението на сигнала. На база на тази информация комплексирана с информация от теренни опробвания за региона по профили е създадена и карта със субстратите на дъното за целия район на проучване като са отделени над 16 вида дъно класифицирани в стандартни типове. Информацията за опробването на дъното е любезно предоставена от Института по Океанология, за което изказвам мойте най-искрени благодарности.

3. Поддънен профилограф.

Всички записани профилограми са стандартно обработени първично, като са отстранени грешните такива, създадена е векторна карта с траковете и имената на профилите. В последствие са приложени филтри за редуциране на шума, медианен филтър, TVG и Heave корекция, корекция за отместване на GPS сигнала. Стекиране на сигнала е използвано само при нужда избирателно.

Трябва да се отбележи, че всеки профил е измерван с 3 работни честоти едновременно, профилографа е параметричен и позволява работа с до 3 честоти едновременно. В зависимост от района и материала на дъното са използвани комбинации от 4, 8, 12 kHz или 5/6, 8, 15 kHz. Плюс една висока батиметрична честота 115 kHz за определяне на дъното.

Поради огромното количество записи по честоти и предвид информативност на записите при обработките са използвани основно най-добре представените честоти, обикновено записи с 8 kHz и на места 12 kHz.

След въвеждане на корекции всички профили са конвертирани до растерни изображения – стандартни растерни профилограми. Конвертиране до SEG-Y сеизмичен формат не е изпълнявано поради факта, че в последващите обработки този формат не е необходим, а е работено със стандартния .

След въвеждане на корекциите е изпълнено трасиране на пластове, като отделените пластове следват следните принципи:

a) Отделен е последния ясно видим седиментен пласт. В над 90% от случаите тази граница трасира и подложната коренна скала.

b) На много места има отделени междинни ясно изразени последователности от седименти пластове които също са отделени в самостоятелни граници. Корелация на платовете в различните профили към момента не е предприемана.

c) На места, където контрастно се идентифицират са отделени различни структурни линии.

Всички профили са експортната към Fledermous CartonWall файлов формат с цел тримерно растерно изобразяване в среда на Fledermous и е създадена комплексна тримерни модели с цялата събрана и обработена информация.

На база на получените данни от векторното трасиране следвайки принцип 1 „последен регистриран седиментен долен хоризонт“ е създаден теренен модел с предполагаемата подложка под седиментите.

Всички получени материали след обработките са запазени в различни стандартни векторни, ASCII, растерни и георефериранни формати за последващо използване.

4. Комплексиране на резултатите от различните методи.

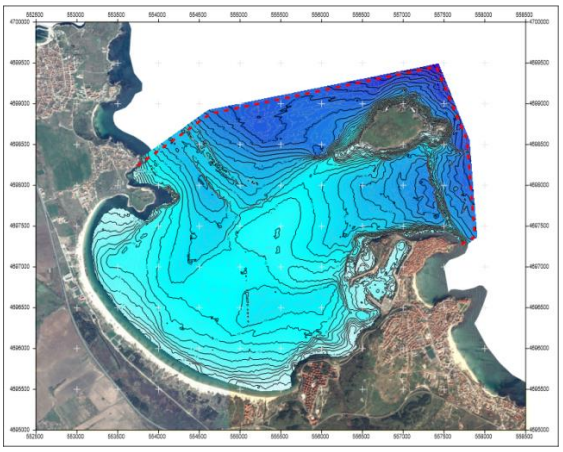
Всички основни придобити и обработени информации са класифицирани в няколко основни бази данни по методи и тип на информация, удобни за използване във всяка една стандартна GIS среда.

С цел по-добро онагледяване в допълнение са придобити и обработени още допълнителна информация за терена на сушата като:

- Георефериранни растерни изображения/снимки на района.
- Тримерен теренен модел на района на база общия теренен модел на РБ.
- В среда на Fledermous всички налични информации и получени данни са обединени в едно единно 3D пространство в това число и придобитата информация от поддънния профилограф.

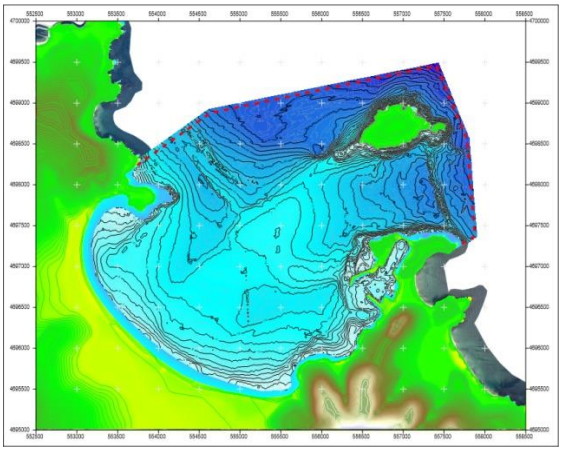
В процеса на работа са създадени към момента следните материали и модели:

- Теренни модели на дъното на залива с различна разделителна способност от 2x2 м до 10x10 м. За някой райони модела е с разделителна способност 0.1x0.1 м. Фиг 9. а.
- Общ теренен модел на дъното и сушата за региона около залива построен на база основния теренен модел на България с разделителна способност 30x30 метра. Фиг 9. б.
- Обща „мозайка“ на текстурата на дъното на залива по данни от странично сканиращ сонар с различна разделителна способност от 0.15x0.15 м до 1x1 м – растерни георефериранни изображения. Фиг 9. в.
- Индивидуални георефериранни растерни изображения с висока разделителна способност за всяка една получена сонограма от странично сканиращ сонар, оформени в база данни.
- Детайлна карта на субстратите на дъното /типовете седимент/ по данни от странично сканиращ сонар, сателитни снимки и предходни получени данни любезно предоставени от Института по Океанология – БАН. Фиг 9. г.
- Обработени профилограми за всички ползвани честоти от поддънен профилограф оформени в растерни изображения и класифицирани в обща база данни. На Фиг. 9. д са изобразени профилните трасета промерени с профилограф.
- На база обработени профилограми са трасирани основни пластове и граници и са изведени като векторен модел под формата на различни векторни файлови формати и данни, оформени в база данни.
- От придобитата векторна информация е изграден теренен модел на подложката на седиментните слоеве (условно скалната основа) за района, Фиг. 9. е.
- Изграден е общ 3D модел в 4D среда с всички получени и обработени към момента данни, картни материали и информации.
- Всички получени данни и информации са оформени в обща база данни с цел бъдещо използване с различни цели като археологически, екологични, геоложки и геоморфоложки и други.

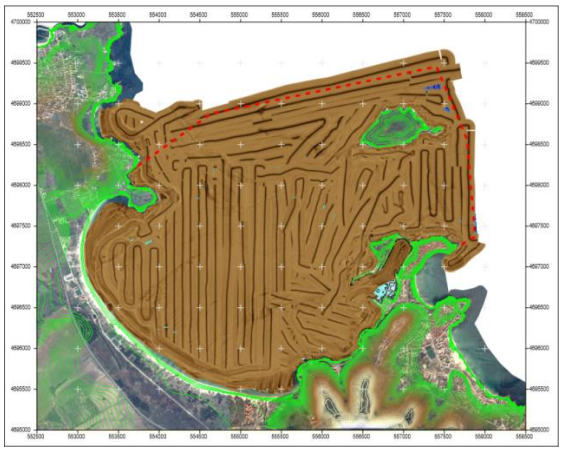


а) Детайлен батиметричен теренен модел

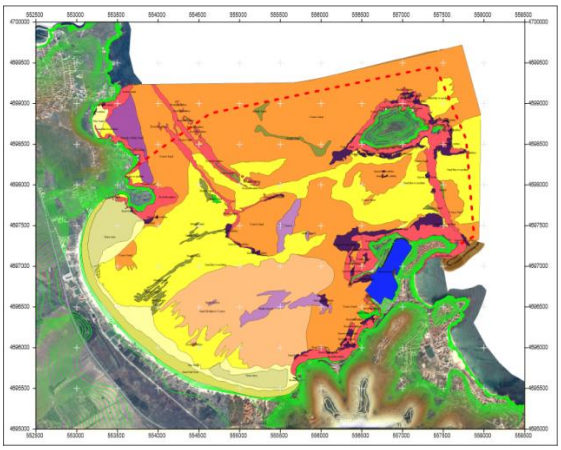
-



б) Детайлна батиметрия и теренен модел на района



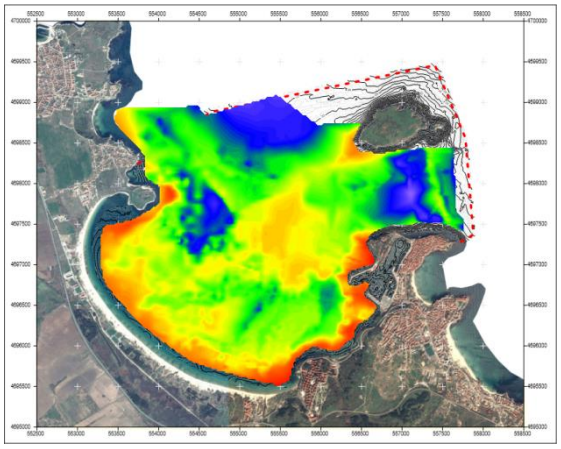
в) Мозайка странично сканиращ сонар



г) Субстратно картиране



д) Профилна мрежа поддънен профилограф



е) Теренен модел на подложката на седиментните слоеве изграден на база резултати от поддънен профилограф.

Фиг. 9. Получени резултати и покрити площи за периода 2014 - Юли 2018 г.

Наблюдения и изводи

От получените резултати може да се заключи, че проучването предостави една може би най-пълна към момента информация и основа за изграждане на детайлна представа за региона, в която в батиметричен и текстурен аспект дъното е проучено със завидно висока степен на детайлизация.

Създадената карта със субстратите за района заедно с получения общ теренен модел и съответните растерни мозайки на дъното практически веднага намериха практическо приложение в лицето на Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания, БАН във връзка с изпълнение на международна програма за мониторинг и развитие на НАТУРА 2000 район Созопол.

Бяха попълнени с детайлни данни базите на 2 други институции: Института по Океанология, БАН и Центъра за подводна археология, Созопол.

Цялата придобита информация потенциално може да бъде използвана многопластово с различни насоки: археологически, екологични, инженерни.

Но може би най-интересната част е в геоложки и гео-морфоложки аспект - придобитата структурна информация за седиментите от проведените поддъни профилирания с профилограф. На тази база създадения палео-теренен модел добре комуникира и се вписват в известната вече геоложка макро представа за региона а именно, че е част от палео-вулкан /калдера с център източно-североизточно от Созопол/. Детайлизацията на скалните ребра източно от н. Хрисосотира, Черноморец, заедно с предишно и последващо придобити информации извън обхвата на настоящото проучване се вписват в представата за наличие на концентрични скални кръгове в рамките на калдерата. Аналогично се идентифицират и радиално разположени скални включения по данни от профилограмите.

В светлината на едно палео-теренно и геоложко реставриране на района от получената към момента информация може да бъдат направени следните заключения и хипотези:

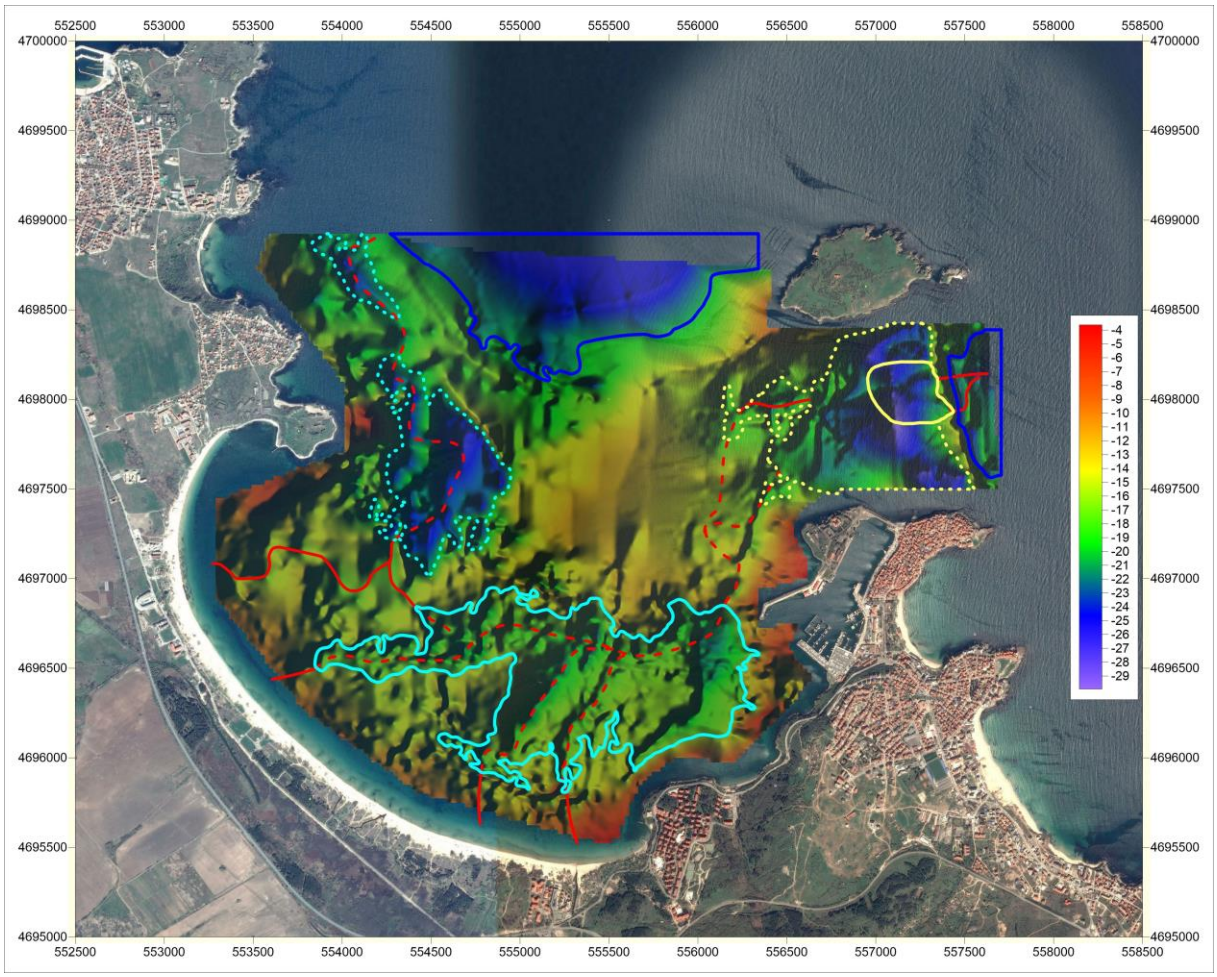
- В разреза на района пред плажната ивица на къмпинг „Градина“ - „Златна рибка“ се идентифицират 4 погребани речни дерета считано от запад на изток. Дали те са в следствие една река или различни потоци трудно може да се определи на база наличните данни, но в профилите най-близко до брега отчетливо се очертават 4 пробива/корита на вливания към вероятна обща езерна/блатна система съсредоточена югоизточно в залива, основно пред къмпинг „Златна рибка“ – входа на пристанище Созопол. Фиг. 10.

- Тази езерна/блатна система поемаща оттока на притоците е имала вероятно отток на запад в посока Черноморец към по-ранна и с по-ниско ниво друга езерна/блатна система или речен канал в северозападния край на залива а от там към морето.

  Вероятността да е имало вливане покрай о. Св. Кирик и после в посока пролива Созопол – о. Св. Иван и на изток, не е изключена но това вероятно е било в по-късен етап и може би за кратко време. Основанието за това твърдение е факта, че седиментните отлаги в западна посока покрай х. Хрисосотира са с по-голяма дълбочина на залягане от тези западно покрай о. Св. Кирик. В западните профили отчетливо се засичат корита на речни пробиви, каквито в профилите източно на залива покрай о. Св Кирик трудно могат да бъдат идентифицирани.

- От анализа на различните получени по райони в площта профилограми Фиг. 11 и структурата на седиментация в записите може се отделят 3 основни зони, които са с различен характер както следват:

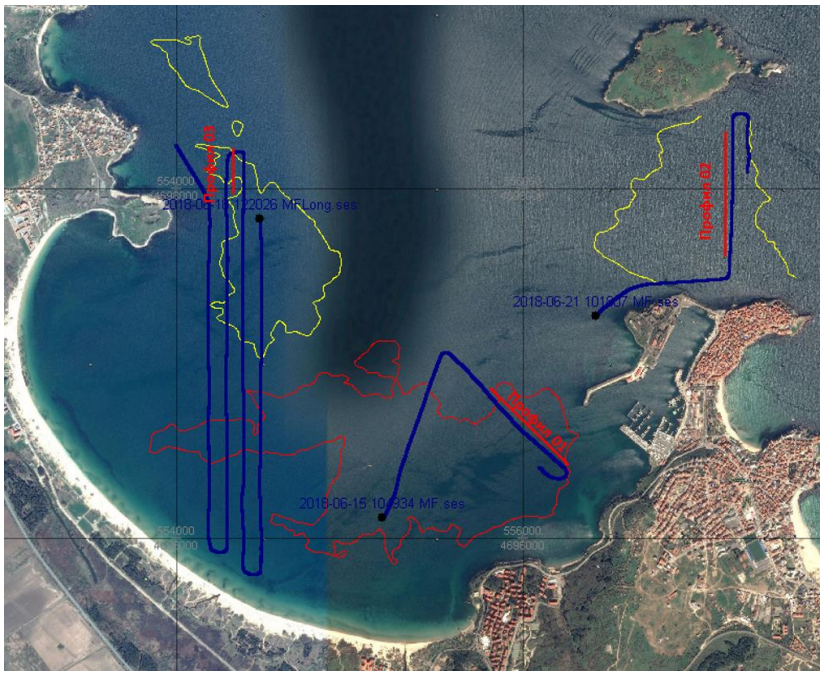
  А) В централната зона маркирани със светло син цвят, Фиг. 10 ясно се наблюдават зони с издържана седиментна слоистост вероятно езерен тип отлагания без наличие на бързо течащи води, Фиг. 11а. Характерното за тази зона е, че най-големи дълбочини седимента постига в най-източните части на района в близост до брега и с издължаване в посока юг-север към входа на пристанище Созопол, където рязко свършва негативната форма. Също така се наблюдават 3 удължения в западна и югозападна посока, които се завършват с погребани палео-дерата.



Фигура 10. Теренен модел на основната подложка в района получен по данни от поддънен профилограф. Условно трасирането е по последен видим седиментен пласт. Светлосин контур - места в които вероятно се е образувало езеро. Червени линии – вероятни течения на малки реки и потоци.

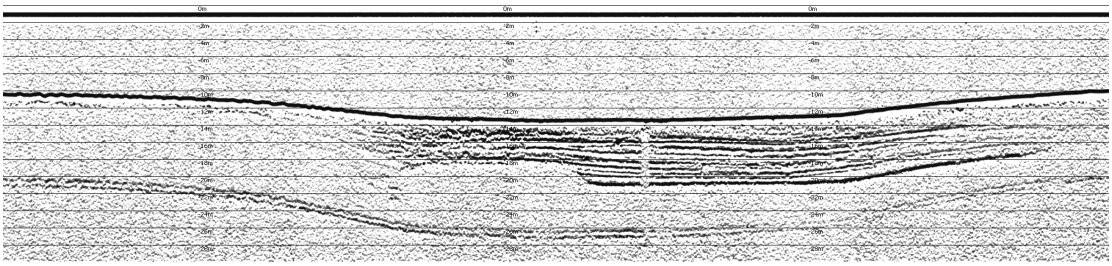
Б) За зоната на пролива о. Св. Иван – Созопол в профилите се наблюдава масивна издържана слоистост на относително дебели пластове, които затъват към центъра на пролива и само в средата – най-ниската точка на пролива се наблюдава седиментация, която по-скоро може да се оприличи на свлечен и не структуриран по-груб материал, Фиг. 11б. Вероятно в тази зона очертана с плътно жълто Фиг. 10 може да се приеме, че става дума за малък воден басейн, които евентуално при заливане от морето или порой се е пълнил максимално до контура очертан с жълт пунктир. Тук трябва да се има и предвид факта, че в тази зона северно от полуострова е установена и така наречената каменна гора, която е от вкаменили се стволове на масивна растителност и която е била обект на множество проучвания, но до момента има спор за възрастта на останките.

В) Наблюденията на профилограмите за западния край на залива покрай н. Хрисосотира дават основание да се идентифицират серия от негативни форми запълнени със слоест материал но разпокъсан и на места напълно деструктуриран. Възможно е деструкцията да е в следствие на вторично силно морско въздействие (тази част на залива не е така добре защитена както източната му страна). Фиг. 11в.

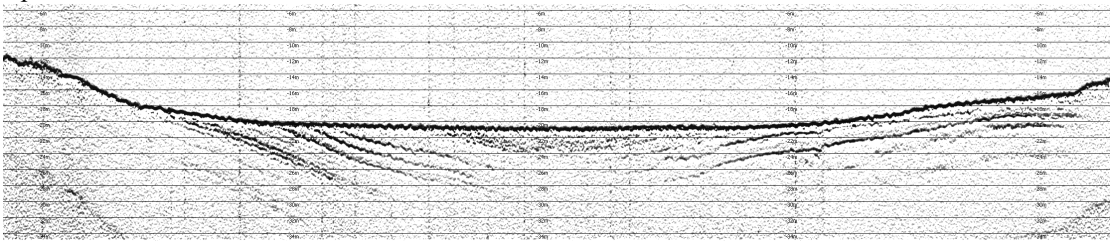


Фиг. 11. Разположени на профилите и трите основни зони с различен структурен тип седиментация отделени в профилограмите.

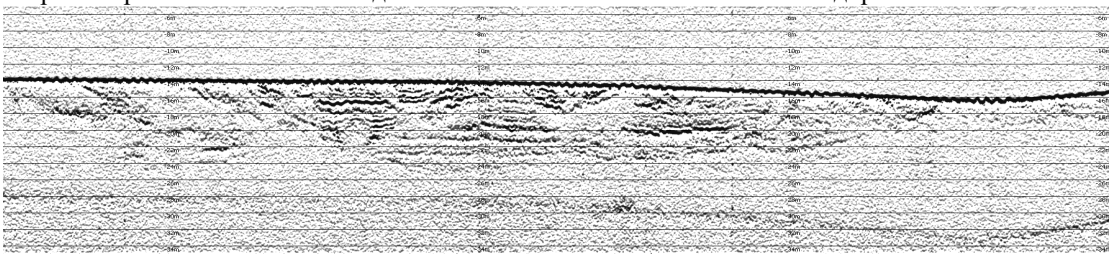
Фиг. 11 а). Профил 01 – залива пред входа на пристанище Созопол. Добре изразена и издържана слоиста структура на седиментните отлагания.



Фиг. 11 б). Профил 02 - канала о. Св. Иван – Созопол. Не структуриран седиментен нанос основно в централната част на профила. Издържаните пластове които се виждат в двете стани на скатовете вероятно са от далеч по-ранни епохи.



Фиг. 11 в). Профил 03 - н. „Хрисосотира“. Фрагментирана слоеста седиментация вероятно причинена от локална морска обработка. В по-голяма дълбочина пластовете са частично по-издържани.



- В централната и източна части на залива условно се наблюдава масивна структура (звуково не проницаема) с изявен кръгов характер и свързана посредством ребра с о. Св. Кирик и о. Св. Иван. Батиметрията на залива за този район описва издигане до -10.0 / -9.5 сегашно морско ниво при околни нива на дъното под -13/-15 м. По данни от профилографа за този район се наблюдава тънък покриващия пясъчен слой с дебелина до 0.5 м. само. Съдейки по получените данни от батиметрията и профилографа може да се предположи, че вероятно става дума за потънала част от общ геоложки ансамбъл тръгвайки от св. Кирик минавайки през позитивната форма на дъното и свършвайки в о. Св. Иван. – Созопол, Фиг. 10. В източна посока в пролива седиментите набират дълбочина до достигане на подводното сега ребро между полуострова Созопол и о. Св. Иван. В северна посока също седимента набира дълбочина следвайки логиката на открито море на север.
- В северозападна посока пред н. Хрисосотира Фиг 9. г., Фиг. 10 недвусмислено се проследява скално ребро идентифицирано с водолазни огледи и контрастно четимо в записите от профилографа, на батиметричната карта и от текстурните карти получени със странично сканиращ сонар. Това ребро е известно, че продължава далеч зад пределите на проучената площ до нивото на залива на пристанище Черноморец и стои като защитен бариерен риф пред полуострова с различна дълбочина на залягане по протежение. В най-северозападната част на реброто по данни от профилографа се наблюдава пробив в посока на север, към открито море, и който може да се приеме за зона на отток на палео-река или коментираната езерна система, каквото е и изказаното предположени от проф. Прайзингер за ранен оток на реките покрай брега на Черноморец. В действителност от други скорошни проучвания старото палео-корито на палео-реката, която е минава през Бургаския залив се идентифицира на около 2.5 – 3.0 км. на вътре от брега в посока запад-изток, където вероятно е бил насочен оттока в древността.

Предишни хипотези по отношение геоморфоложкото развитие на залива.

Основна част от разработките за детайлно обследване на залива и геоморфоложки хипотези са направени по инициатива на Центъра за подводна археология под ръководството на Христина Ангелова. Началото датира от средата и края на 80-те години когато в серия промерни измервания с втория произведен в България от Института по Океанология БАН странично сканиращ сонар е изпълнено сонарно заснемане на зоната на скалното ребро между полуостров Созопол и о. Св.Иван.

Още тогава се поставя въпроса, какво в действителност е било развитието на залива в последните 8000-10000 години, че да обуслови съществуването на селище в района, както и други ново открити такива в района на гр, Черноморец разположени на същия залив.

Има данни от по-ранни обследвания и сондажни изработки в акваторията с чисто геоложки интерес но всички те са били с твърде ниска резолюция за да са детайлни и са основно насочени към структурна геология или батиметрични измервания обслужващи мореплаването и хидрографията на района.

От друга страна в ранните години има изпълнени и множество водолазни огледи и гмуркания с цел опознаване на района и евентуално изграждане на цялостна представа и теория за развитието му, но те са предимно точково насочени и най-вече в близост около полуострова на Созопол и о. Св. Иван.

До средата на 90-те са направени и първите относително по-детайлна батиметрична карта в района на пролива между гр. Созопол и о. Св. Иван до линията о. Св. Кирик – о. Св. Иван, в търсене на обоснована хипотеза за отговор на поставения въпрос.

В средата на 90-те години М. Геогиев, Д. Стоев, К. Велковски на база получени батиметрични изработки и анализ на по-стари сондажни изработки изказват хипотезата за наличие първоначално на езеро/блато преобразувано в лиман с пясъчна коса на територията на залива. Основанието за извода е в анализ на общата батиметрия в съчетание с известната към момента геология за залива.

От получените батиметрични и сонарни данни през 80-те и 90-те години на миналия век за пролива между полуострова на гр. Созопол и о. Св. Иван, и констатираното свързващо скално ребро между

двете страни на пролива, дават основа да се изгради общо мнение, че на тази територия вероятно е имало сладководно езеро, което се е захранвало от изворите на полуострова и река „Патовска“, като реката се е вливала в езерото минавайки западно от о. Св. Кирик.

В началото на новото хилядолетие Центъра за подводна археология предприема серия от множество инициативи и кани известни учени с цел провеждане на изследвания в района и създаване на стабилна хипотеза за генезиса на залива и свързаността му с острова и полуострова.

Между тях е и известния проф. Прайзингер от Австрия, който в рамките на 2 демонстрационни дни провежда серия профилирания с поддънен профилограф.

Проф. Прайсингер допуска р. Патовска да е минавала покрай о. Св. Кирил в посока пролива между полуострова на Созопол и о. Св. Иван [6]. По време на разработката обаче изказва и предположение, че по-ранните течения на реката са били в залива от към страната на гр. Черноморец, и от там са се вливали в морето, като са минавали зад о. Св. Иван.

Мариана Филипова-Маринова, Антон Праизингер, Христина Ангелова и други доразвиват разработката след 2000 в по-малки мащаби главно около полуостров Созопол и о. Св. Иван., като резултата е публикуван през 2011 г. [6].

Така до края на 2014 година преди представените в този материал данни и анализи, основната работна хипотеза за развитието на залива е фокусирана около района на пролива между полуострова на Созопол и о. Св, Иван и постулира, че пролива е бил езеро в последствие залив, а река Патовска се е вливала в езерото минавайки западно покрай о. Св. Кирик.

Дискусия

Предвид гореизложените наблюдения и изводи не е трудно да си представим тогава, че ако започнем да разглеждаме ландшафта в древността от реди 8000-10000, първоначално при морско ниво -40/-35 метра сегашно равнище Фиг. 12. А., то е имало естествена сухоземна връзка между полуостров Созопол през централната структура до о. Св. Иван и района на залива е бил сух ландшафт. Вероятно в подножието от западната страна на реброто между о. Св. Иван и полуострова на Созопол е имало езеро захранвано от изворите по полуостров Созопол и о. Св. Иван и поройни притоци. В южната част на залива също вероятно е имало езерна/блатна система захранвана от оттока на водата по хълмовете на „Бакарджика“, която при по-високи води е била с отток в посока Черномерец - н.Хрисосотира и след това на север в посока идентифицираното палео-корито на палео-реката минаваща през Бургаски залив.

Тази ситуация е съществувала до повдигане на морското ниво на приблизително –20 метра сегашно морско ниво Фиг. 12. Б., когато морето прескача прага на скалното ребро пред н. Хрисосотира и нахлува в долината зад него като първоначално оформя вероятно тънък залив покрай реброто, и в последствие се разширява и югоизточна посока, Фиг. 12. В. Все още долината в пролива между полуострова на Созопол и о. Св. Иван вероятно е защитена от морето, Фиг 12.Г.

При приблизително –18 метра сегашно морско ниво, морето прескача и прага на реброто между п-в Созопол и о. Св. Иван и залива сегашния пролив, като връзката по земя между о. Св. Кирик с позитивната централна форма и о. Св. Иван остава.

При тази ситуация оттока на всички реки, езера и блата в южната част на залива най-вероятно са се заустували в езерото разположено южно от позитивната форма с най-ниска кота на преливане в западния край към Черноморец -14/-14.50 м. сегашно морско ниво и от там в новообразувания залив пред х. Хрисосотира. Разликата в обследваните най-ниски коти на прагове в западния край на езерото/блатото посока Черноморец е -14.75, а в източния край до о. Св. Кирик -13.75 сегашно морско ниво, т.е. пробива покрай о. Св. Кирик е с около 1 метър по-високо спрямо прага в западния край към н. Хрисосотира.

С покачването на морското ниво до -15.25 метра приблизително Фиг. 12. Д., връзките между централната подутина в залива, о. Св. Кирик и о. Св. Иван, както и реброто отделящо езерото в

южната част на залива от образувалия се залив пред н. Хрисосотира започват да изтъняват. Само малки остатъци от скалното ребро в пролива между полуострова и о. Св. Иван вероятно са загатвали, че по тази линия някога е имало „стена“.

Вероятно много скоро след този момент, когато водата достига -14.75 – 14.50 м сегашно морско ниво връзката между о. Св. Иван и централната подутина е разкъсана, о. Св. Иван вероятно е обособен като остров вече, а езерото е погълнато в залив южно под централната подутина. Тя от своя страна все още запазва крехка връзка с о. Св. Кирик – Фиг. 12 Е..

Трябва да се отбележи, че към този момент на практика о. Св. Кирик е част от полуострова на Созопол, т.е. дълбочините на структурите в дъното на сегашното пристанище са доста по-високо, като селището в пристанището на гр. Созопол е разкрито с най-ниска точка – 7/8 метра сегашно морско ниво. Доста по-късно във времето о. Св. Кирик е обособен като самостоятелен остров на практика.

С напредването на морското ниво не след дълго е разкъсана и връзката на централната подутина с о. Св. Кирик и тя остава известно време в оформения вече залив, като втори остров Фиг. 12. Ж.

Логично е да се предположи, че височината на тази позитивна форма в залива, в никакъв случай не е била тази, която в момента наблюдаваме предвид факта, че е имало сериозна абразия от страната на морето, а най-вероятно и почвен слой, който е отмит. Така, че без да се спекулира много може да се приеме, че този остров вероятно е просъществувал известно време преди да бъде погълнат от морето.

Но ако стъпим строго на данните от профилографа без да отчитаме спекулативните моменти, то при морско ниво над -9.5/9.0 м спрямо сегашно равнище, този къс земя също е залят и от острова не остава нищо.

Много трудно към момента могат да се посочат дори и ориентировъчни датировки на развитието на събитията, но доста е вероятно, предвид последните разработки по отношение повдигането на морското ниво на Черно море за последните 10-12 хиляди години, това развитие да се е случило в рамките на последните 8000 – 9000 години, т.е. дори и в праисторически времена процеса да е продължавал.

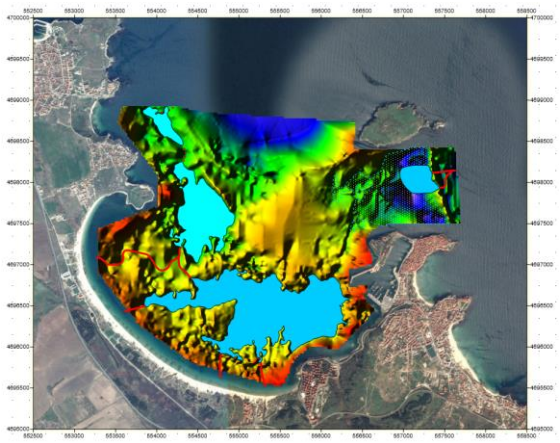
Хронологически погледнат целия процес на заливане е протекъл приблизително както е описан визуално в последователността от серията ключови графики на Фиг. 12. Обвързването към времето, без да претендирам за абсолютна точност, и като си позволявам известна спекулация, може да бъде с използваната от проф. Антон Прайзингер крива на повдигане на черноморското ниво за последните 20,000 години Фиг. 13. Разбира се може да бъде използвана и всяка една друга крива, но това не би нарушило хронологията, а само би преместило времевите рамки на събитията.

Това е само една хипотеза съставена на основата на наблюдения на измерени данни и предложена на читателите за дискусия!

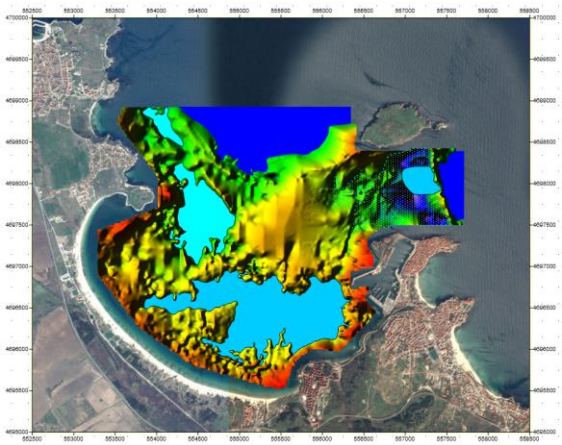
Дали така изказаната хипотеза напълно ще бъде потвърдена, ще трябва да се коригира или ще се наложи да бъде отхвърлена в голяма степен зависи от нуждата да бъдат направени ядкови сондажи изработки в подходящи за целта места и да бъдат анализирани изваденитe материали. Надяваме се това скоро да се случи.

Фиг. 12. Хронологично развитие на района в различни ключови моменти.

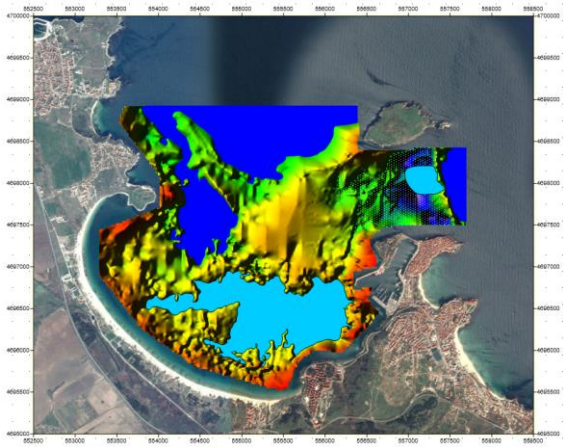
А). -40.00 м. / 10200 г. приблизително



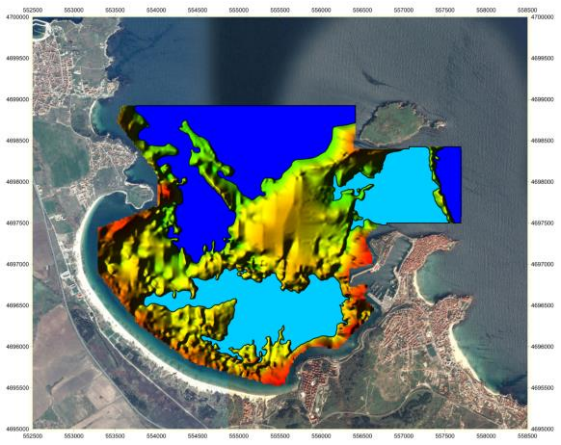
Б). -20.25 м. / 6900 г. приблизително



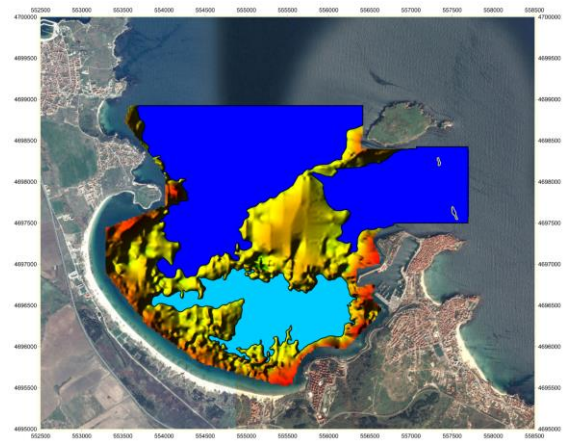
В). -19.25 м. / 6700 г. приблизително



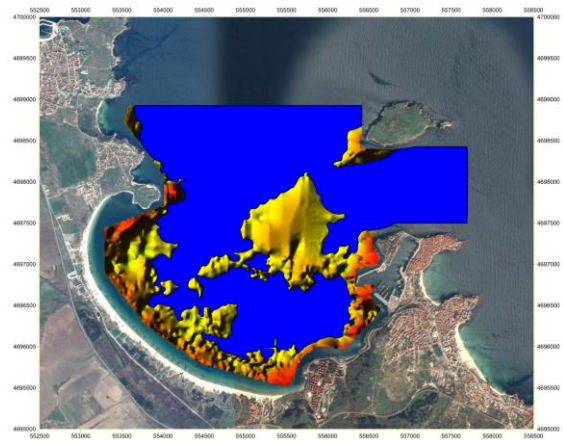
Г). -18.00 м. / 6400 г. приблизително



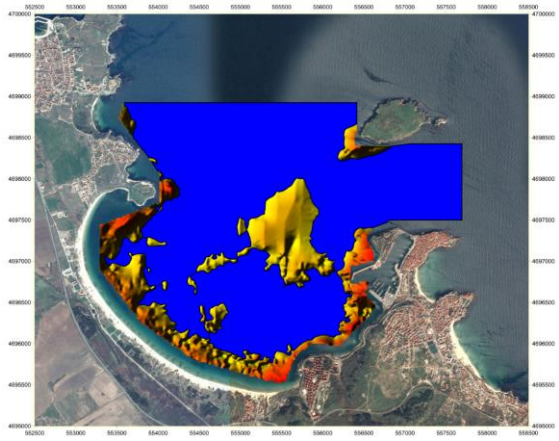
Д). -15.25 м. / 5800 г. приблизително



Е). -14.50 м. / 5600 г. приблизително

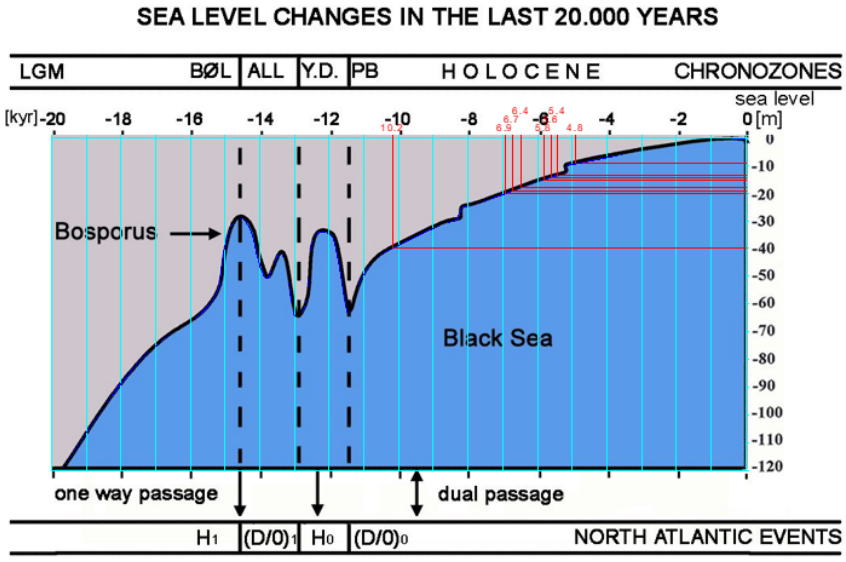


Ж). -13.75 м. / 5400 г. приблизително



З). -9.50 м. / 4800 г. приблизително

Острова изчезва или са останали само откъснати рифови камъни, като презумпцията, е че почвения слой който вероятно е съществувал е отмит към онзи момент вече. Възможно е да е имало пясъчна коса върху него както и на други по-плитки места.



Фиг. 13. Хронологична крива на нарастване на нивото на черно море според проф. Антон Пайзингер с интерпретация на времето за периода на разглеждане развитието на залива Созопол – Черноморец.

Благодарности

Специални благодарности към:
Център за подводна археология, гр. Созопол
Институт по Океанология, Българска академия на науките
Институт по биоразнообразие и екосистемни изследвания, Българска академия на науките
Екипа на МК „Христина“

Веселени Драганов† и Любомир Димитров за съдействието и разбирането през годините за да се случи тази разработка.

В памет на Христина Ангелова†,
Човека, който дръзнеше да мечтае и да работи по абсолютно новаторски начин.

Литература

1. Petrova, A., E. Wassilev, L. Mihailova, A. Simeonov, E. Chelebiev. Litostratigrafiya chasti werhnogo mela w Burgasko raione. - Geolögica Balcanica, v. 10, No 4, 1980.
2. Petkov A., Georgiev M., Stoev D. and Velkovski K. Underwater geophysical research of the paleoreliff of literal sections of the Bulgarian Black sea coast. 2nd Southern - European Conference on Achaeometry, Delphi, Greece, 19 - 21 April, 1991.
3. Georgiev M., Velkovsky K. and Petkov A., Processing the results of geophysical prospecting of underwater archaeological sites. - Thracia Pontica V, Varna. 329-336, 1994.
4. Georgiev M., Petkov A., Stoev, D. and Velkovsky K., Geophysical prospecting of the aquatoria of the southern black sea coast aimed at reconstructing of the palaeorelief. - Thracia Pontica V, Varna. 317-328, 1994.
5. Stoev, D., Development of Bulgarian Black Sea coast in the last 8000 years. - Thracia Pontica VII. 1997.
6. Mariana Filipova-Marinova, Liviu Giosan, Hristina Angelova, Anton Preisinger, Danail Pavlov and Stoyan Vergiev. Palaeoecology of Submerged Prehistoric Settlements in Sozopol Harbour, Bulgaria. Oxbow Books, ISBN 978-1-84217-418-0, 2011.
7. Христина Ангелова, Веселин Драганов, Найден Прахов, Кирил Велковски, Любомира Трендафилова, Драгомир Гърбов. Спасително археологическо проучване на обект „Строителство на дълбокоморско заустване на пречистени води от пречиствателна станция за отпадни води – Созопол“. Археологически открития и разкопки през 2014 г., ISSN: 1313-0889, София, стр. 879 – 881, 2015.
8. Stefania Klayn, Dimitar Berov, Kiril Velkovsky, Lyubomir Dimitrov, Tzvetelina Zagorcheva, Ivan Atanassov, Ventzi Karamfilov. Habitat mapping and genetic connectivity in a Black Sea MPA, 5th World Conference on Marine Biodiversity (WCMB2020), 2020.