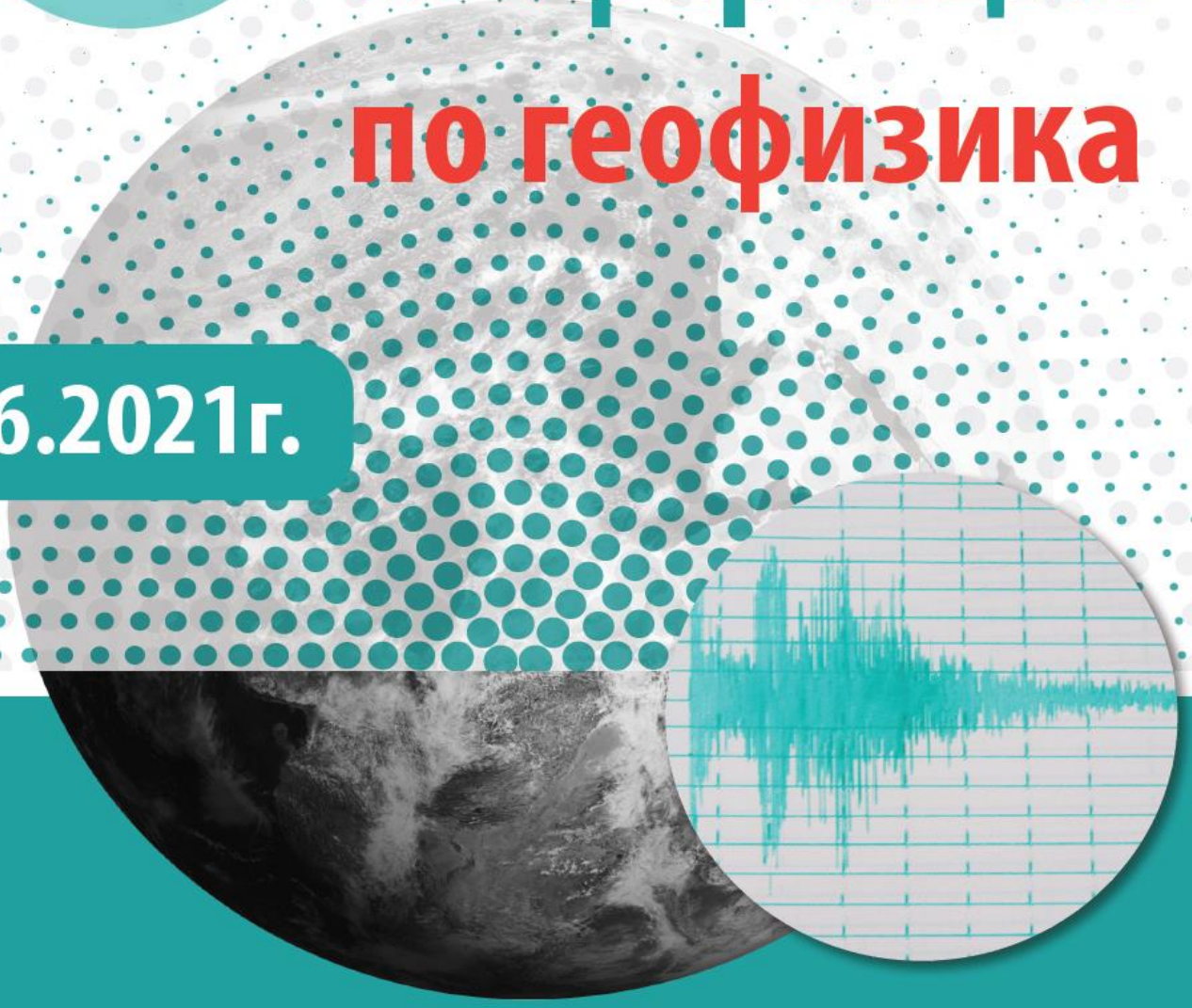
X-та

Национална конференция по геофизика

04.06.2021г.



ПРОГРАМА

ДРУЖЕСТВО НА ГЕОФИЗИЦИТЕ В БЪЛГАРИЯ

ДЕСЕТА
НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЕОФИЗИКА

Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН
София, 04 юни 2021 г.

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:

Почетни председатели:
проф. дгн Димчо Йосифов, проф. дгн Петър Ставрев и проф. дгн Стефан Шанов

Председател на организационния комитет:
гл. ас. д-р инж. Християн Цанков – Председател на ДГБ

Научна комисия:
доц. д-р Петя Трифонова – Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН
гл. ас. д-р инж. Атанас Кисьов - Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"
гл. ас. д-р Гергана Георгиева - Физически факултет, Софийски университет "Св. Климент охридски"

Организационно-техническа комисия:
доц. д-р инж. Деница Борисова – Институт за космически изследвания и технологии, БАН
гл. ас д-р Емил Ойнаков - Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките
Соня Димитрова - Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН

Финансова комисия:
д-р Никола Кръстев – финансов консултант
гл. ас. д-р инж. Атанас Кисьов – Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски"

Работен език: български

СОФИЯ
2021

П Р О Г Р А М А

10-та НАЦИОНАЛНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЕОФИЗИКА

Национален институт по геофизика, геодезия и география, БАН
София, 04 юни 2021 г.

Петък, 04 юни 2021 г.

09:30 - 15:30 РЕГИСТРАЦИЯ (ФОАЙЕТО ПРЕД ЗАСЕДАТЕЛНАТА ЗАЛА НА НИГГГ)

11:00 **Откриване на конференцията**

- Встъпителни думи - д-р Християн Цанков, Председател на ДГБ

11:15 - 12:30 СЕСИЯ 1

Председател доц. д-р Петя Трифонова

11:15 - 11:30 **Борислав Александров, Любка Пашова**
N1 Геодезически изследвания на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън и приносът им за изучаване на съвременни геофизични процеси

11:30 - 11:45 **Христо Николов, Мила Атанасова**
N2 Оценка на земните премествания в урбанизирани и промишлени райони посредством DInSAR времева серия

11:45 - 12:00 **Мила Атанасова, Христо Николов**
N3 Определяне на деформациите на земната кора посредством DInSAR настъпили след земетресението в района Лариса от 3 март 2021г.

12:00 - 12:15 **Драгомир Драгомиров, Гергана Георгиева, Лилия Димитрова**
N4 Земетресения в ледниците на остров Ливингстън

12:15 - 12:30 **Цветелина Величкова, Наталия Килифарска**
N5 Статистически методи за анализ на измененията в климата

12:30 - 13:30 **Обедна почивка**

13:00 - 14:45 СЕСИЯ 2

Председател гл. ас. д-р инж. Християн Цанков

13:30 - 13:45 **Божурка Георгиева, Диана Йорданова, Нели Йорданова, Даниел Ишлямски**
N6 Палеоклиматични изменения за последните 450 хил.г., записани в магнитните свойства на льосово-почвения профил Каолиново

13:45 - 14:00 **Даниел Ишлямски , Димо Димов , Нели Йорданова, Диана Йорданова**
N7 Изследване на източника на магнитни свойства на лишеи и мъхове от островите Ливингстън и Кинг Джордж (Южношетландски острови, Антарктика)

14:00 - 14:15 **Бойко Рангелов**
N8 Археосеизмологията в България - обзор

14:15 - 14:30 **Кирил Велковски**
N9 Морско геофизично проучване в акваторията на НАТУРА 2000, гр. Созопол, залива гр. Созопол - о. Св. Иван – н. Хрисосотира, гр. Черноморец

14:30 - 14:45 **Петър Зидаров**
N10 В подножието на Свещарските могили или за ползите от магнитният метод в проучването на околомогилните пространства

14:45 - 15:15 **Кафе пауза**

15:15 - 17:30 СЕСИЯ 3

Председател гл. ас д-р Емил Ойнаков

15:15 - 15:30 **Християн Цанков**
N11 Геофизично изследване на Могила 39, Могила 33 и близкото междумогилно пространство от Източния некропол в ИАР „Сборяново“

15:30 - 15:45 **Деница Борисова, Дойно Петков, Венцеслав Димитров**
N12 Дългосрочно ползване на данни от дистанционни спектрални измервания

15:45 - 16:00 **Гергана Георгиева, Атанас Кисьов, Християн Цанков**
N13 Комплексно геолого-геофизично изследване в района на Долно Камчийското понижение - практическо обучение за студенти

16:00 - 16:15 **Илиана Попова, Красимир Георгиев, Любомир Ангелов, Миглена Николаева-Димитрова, Мая Стоянова**
N14 Климат, време и производство на енергия от PV система монтирана на иновативен демонстрационен павилион в София

16:15 - 16:30 **Любомира Трендафилова**
N15 Дистанционно наблюдение в батиметричното картиране на Българската черноморска крайбрежна зона

16:30 - 16:45 **Атанас Кисьов**
N16 Геофизични полета в Източни Родопи и връзката им с литолого-петрографските характеристики на скалите и геоложките структури

16:45 - 17:00 **Ивайло Иванов, Стефан Димовски, Николай Стоянов**
N17 Приложение на метода ERT за картиране на изветрели зони в скални комплекси

17:00 - 17:15 **Николай Милошев, Петя Трифонова**
N18 Национален геоинформационен център – научна инфраструктура за мониторинг на Земята и околоземното пространство в България

17:15-17:30 ДИСКУСИЯ, СЪОБЩЕНИЯ И ЗАКРИВАНЕ НА КОНФЕРЕНЦИЯТА

- Съобщение за Балканския геофизичен конгрес в Румъния през 2021 г. (гл. ас. д-р инж. Християн Цанков)
- Други

17:30 **Закриване на конференцията**

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N1

Geodetic surveys of BAB "St. Kliment Ohridski" on Livingston Island and their contribution to the study of modern geophysical processes

Borislav Alexandrov[1], Lyubka Pashova [2]

[1] University of Architecture Civil Engineering and Geodesy, 1 "Hr. Smirnenski" Blv., 1046 Sofia, Bulgaria, E-mail: alekb_fgs@uacg.bg
[2] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography - Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 3, Sofia 1113, Bulgaria, E-mail: lpashova.niggg@geophys.bas.bg

Key words: GNSS, tide gauge, geodynamical processes, Livingston Island

Abstract
The report briefly presents modern geodetic surveys of Livingston Island, conducted after 1998 at the Bulgarian Antarctic Base "St. Kliment Ohridski". Activities for mapping the topography of the island and the seabed are summarized. The main results of the processing and analysis of the data collected from measurements performed during the 28th National Antarctic Expedition, season 2019-2020 are considered. In the context of global changes and the growing anthropic pressure on the environment, geodetic observations and research contribute to clarifying the mechanisms of interaction of complex processes in the BAB region.

Геодезически изследвания на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън и приносът им за изучаване на съвременни геофизични процеси

Борислав Александров [1], Любка Пашова[2]

[1] Университет по архитектура, строителство и геодезия, бул."Хр. Смирненски", София 1046, E-mail: alekb_fgs@uacg.bg
[2] Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл. 3; София 1113, E-mail: lpashova.niggg@geophys.bas.bg

Ключови думи: ГНСС, мареограф, геодинамични процеси, о-в Ливингстън

Резюме
Докладът представя накратко съвременни геодезически изследвания на о-в Ливингстън, извършени след 1998г. на Българската антарктическа база (БАБ) “Св. Климент Охридски“. Обобщени са дейности за картографиране на топографията на острова и морското дъно. Разгледани са резултати от обработката и анализа на данните, събрани от комплексни геодезически измервания, извършени по време на 28-ата национална антарктическа експедиция, сезон 2019-2020 г. В контекста на глобалните промени и нарастващия антропогенен натиск върху околната среда, геодезическите наблюдения и изследвания допринасят за изясняване на механизмите на взаимодействие на сложни процеси в района на БАБ.

Въведение

Антарктида е най-студеният, най-високият, най-сухият и най-ветровитият от всички континенти и е заобиколен от Южния ледовит океан - един от най-големите и най-бурни световни океани. Континентът има площ ~14 млн km^2, от които по-малко от 2% са свободни от лед. Ледената покривка се издига до над 4000 m над морското равнище. Районът обхваща приблизително една десета от земната суша и играе важна роля във формиране на климата на Земята. Антарктида и Южният океан имат уникална и крехка екосистема, характеризираща се с единствена по рода си флора и фауна и много къса хранителна верига. Антарктида е последният див континент, който все още не е достатъчно добре проучен. Съвременните спътникови методи предоставят възможности за получаване на ценна информация на недостъпните и отдалечени райони от ледения континент. Придобиването на точни геодезически данни е жизненоважно за подпомагане на почти всички аспекти на провежданите мултидисциплинарни изследвания, които обикновено не могат да се провеждат другаде. Резултатите от тях помагат да се разберат по-добре глобалните екологични проблеми свързани с климатичните промени, разрушаването на озона и повишаването на морското равнище.

Българската Антарктическа база (БАБ; https://bab-bg.weebly.com/) е основана по време на първата антарктическа експедиция през 1988 г., организирана по случай стогодишнината на Софийския университет. Тя се намира в източния бряг на вътрешния залив Емона с координати 62°38′29″S, 60°21′53″W, който е част от Южния залив на о-в Ливингстън от архипелага Южношетлъндски острови, Западна Антарктика (Фиг. 1а). Достъпът до базата е само през морето, като годишно посещенията на кораби са около 5. В същото време базовото местоположение предлага удобен достъп до планината Фризленд, хребета Бърдик, планината Боулс, полуостров Хърд и полуостров Варна. В близост до БАБ е испанската антарктическа база „Хуан Карлос I“ (Фиг. 1б). През 1993 г. с президентски указ базата е кръстена на „Св. Климент Охридски“. Българският Антарктически Институт (БАИ; http://www.bai-bg.net/), създаден през 1993 г., е национален оператор на дейностите в Антарктида, който организира и провежда ежегодните антарктически експедиции и поддръжката на БАБ. БАИ работи в сътрудничество с научни колективи от Испания, Великобритания, Русия, Германия, Аржентина, Бразилия, Чили, Южна Корея и др. Член е на COMNAP (Съвет на мениджърите на национални антарктически програми), SCALOP (Комитет за антарктическа логистика и операции), EPB (Европейски полярен борд) SCAR (Научен комитет за антарктически изследвания). Република България е консултативен член на Договора за Антарктида, ратифициран от България през 1978 г., който регулира международните отношения за дейностите на ледения континент. Договорът е в сила от 1961 г., подписан е от 49 държави, 29 от които, включително България, имат право да участват в срещите за вземане на решения. Научните изследвания провеждани на БАБ са залегнали в приетата през 2016 г. петгодишна Национална програма за полярни изследвания, която е насочена към осъществяване на научното развитие и организация на логистиката в Антарктида. На о-в Ливингстън ежегодно се провеждат специализирани експедиции от учени от България и други страни. Основно място от научните приоритети заемат науките за Земята (БАИ; http://www.bai-bg.net/). БАБ е включена в актуализираната Пътна карта на Националната научна инфраструктура за периода 2020-2027г. като уникална научна инфраструктура (https://mon.bg/bg/4). Създаденият през 2018 г. Консорциум "Българска антарктическа база "Св. Климент Охридски“ между Софийски Университет "Св. Климент Охридски“ и Българския антарктически институт, към който през 2020 г. се присъедини и Висшето военноморско училище "Н. Й. Вапцаров“, цели да създаде високотехнологични и модерни условия за работа, които да осигурят възможности и материална база на всички заинтересовани учени - от България и от чужбина - да осъществяват оригинални и мултидисциплинарни изследвания за решаване на научни задачи в глобален контекст в Полярните региони и Световния океан.



Фигура 1. Разположение на БАБ „Св. Кл. Охридски“ на о-в Ливингстън: а) архипелаг Южношетлъндски острови; б) БАБ „Св. Кл. Охридски“ и ИАБ „Хуан Карлос I”; с) изглед към базата

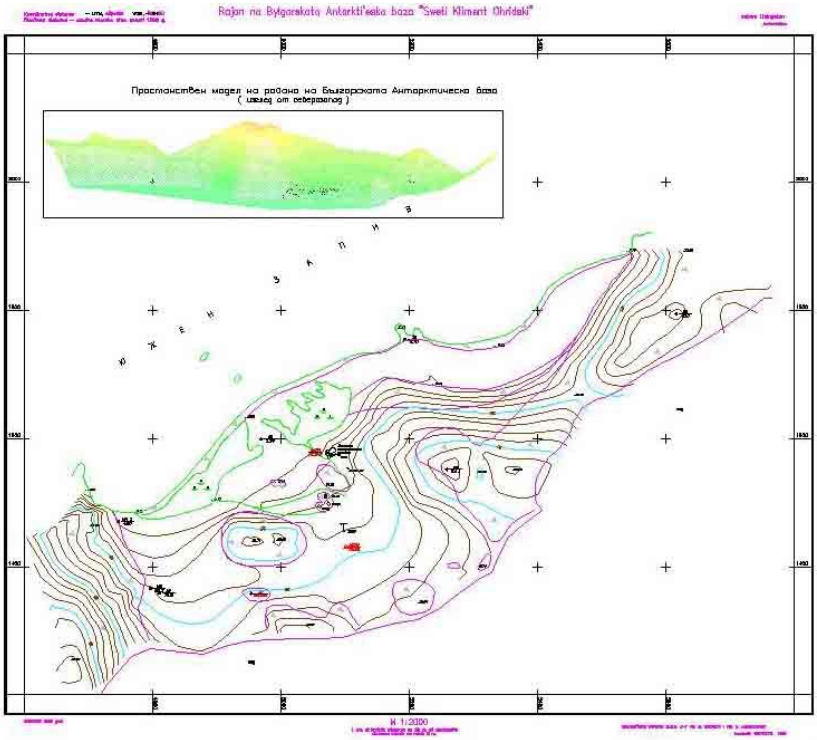
Този доклад представя основни геодезически дейности, извършени от български геодезисти през последните три десетилетия. Български геодезисти са участвали в 7 експедиции, по времето на които са извършени класически геодезически измервания и е инсталирана съвременна научна апаратура. Резултатите от тях са ползвани за картографиране на топографията на острова и морското дъно; поставено е начало на дългосрочни наблюдения чрез изграждане на перманентна ГНСС и мареографна станции за изследване движенията на сушата в района на БАБ и измененията на морското ниво паралелно с други морски наблюдения. Специално внимание е отделено на 28-та национална антарктическа експедиция, проведена през астралния сезон 2019-2020 г. В рамките на тази експедиция са извършени морски геодезически дейности и са положени основите на нова изследователска

лаборатория. Представени са предварителни анализи на измервания от мареографната станция, проводимостта, солеността и температурата на океанската вода около брега и в дълбочина на залива Емона и от ГНСС станцията KOH2. Направен е кратък преглед на спътникови геодезически мисии, чиито данни се използват за изследване времевите вариации на ледниковата покривка, гравитационното поле и приносът на топенето в баланса за определяне повишаването на глобалното морско равнище.

Геодезически изследвания по време на антарктическите експедиции на о-в Ливингстън

Интердисциплинарните изследвания с многонационално участие в БАБ "Св. Климент Охридски" започват през 1996 г. и оттогава са реализирани 29 експедиции. В последните две десетилетия се изпълняват различни изследователски проекти през летните сезони, започвайки от ноември-декември до февруари-март. Основните научни приоритети са фокусирани върху изследвания от направления науки за Земята - геология, геофизика, физика, глациология, метеорология, геодезия, картография, зообиология, ботаника, екология и медицина. В изпълнение на Националната програма за полярни изследвания за периода 2017-2021, приета с Решение № 718 от 29.08.2016 г. на Министерския съвет, Центърът за полярни изследвания към СУ "Св. Климент Охридски" периодично обявява конкурси за финансиране на научни проекти. Освен научните изследвания, Българският антарктически институт финансира и образователни проекти (https://bai-bg.weebly.com/).

Първоначалните геодезически експедиции включват извършване на класически геодезически измервания, GPS наблюдения на отделни характерни точки в района на БАБ и картографиране на топографията на острова за изработване на топографски карти, които непрекъснато са допълвани и е подобрявана тяхната точност. Геодезическите дейности бележат своето начало през астралния сезон 1998/1999 г. с включването на двама геодезисти в 7-та антарктическа експедиция - инж. Борислав Александров от УАСГ и инж. Димитър Димитров от БАН (Александров, Димитров, 1999). Изградена е работна геодезическа основа, като мрежата от точки е проектирана като самостоятелна. По това време е налична една точка, чиито координати са определени чрез многодневни GPS измервания от немски специалисти, служеща да осигури височинно привързване на останалите точки. Геодезическата мрежа се състои от 9 точки с разстояния между тях от 109 до 428 m. Проектирането е извършено с помощта на единствената налична топографска карта в мащаб 1:25 000, издадена през 1991 г. от Formada por el Sevicio geografico del Ejercito, Madrid. Предвидено е измерването на всички дължини чрез светлодалекомер, съобразно най-благоприятните условия през астралното лято. Най-ниската точка е с височина 3.24 m, а най-високата – 64.40 m. Точката БАБ-1, непосредствено пред БАБ, е с височина 12.47 m. Височинно мрежата е привързана към определената през 1997 г. с GPS наблюдения точка KOH-1 с елипсоидна височина 24.00 m. Картографираната територия в района на БАБ покрива над 70 ha открити от сняг и лед скални пасажи, която е изработена в М 1:2000 (Фиг.2).



Фигура 2. Първа топографска карта за района на БАБ, изработена от геодезисти

По време на 9-та експедиция, сезон 2000/2001 г., са извършени GPS измервания за геоложко картиране и е изследвана вертикалната

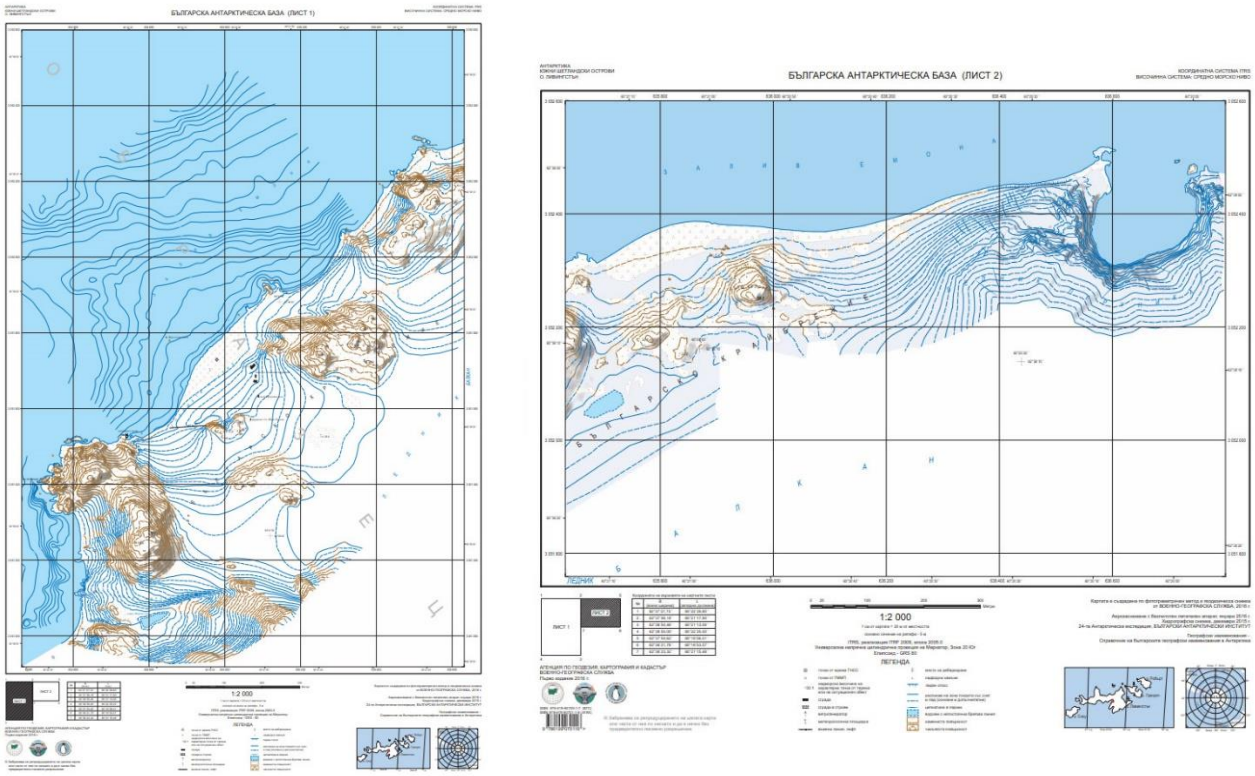
рефракция в района на БАБ (Александров, 2011). Направени са реални изследвания за поведението на визирния лъч, с продължителни наблюдения на точки, избрани над различна постилаща повърхност - ледени полета, открити скали, морска повърхност и комбинации от тях. Проследявани са промените на зенитните ъгли, температурата и атмосферното налягане в различни части от денонощието.

Геодезическите дейности в 18-та експедиция (2009/2010 г.) са насочени към изучаване на дъното на Южния залив на о-в Ливингстън и неговия релеф. Сформиран е екип от гл. ас. инж. Борислав Александров и ст. ас. инж. Юри Цановски от УАСГ за създаване на водомерен пост и извършване на хидрографска снимка на залива, с изработване на цифров модел на дъното. Монтирана е водомерна лата, подходящо закрепена във вертикална скала, на сравнително тихо място в залива. Отчетите на морското ниво са привързани височинно към изградената геодезическа мрежа на сушата. В продължение на три седмици са правени отчети на нивото през ~2 часа. Изчертана е графика на колебанията на морското ниво, макар и за много кратък период, но се поставя началото за бъдещи хидроложки наблюдения. Хидрографската снимка в акваторията пред БАБ е извършена с хидрографен комплекс Garmin GPSMap 521, собственост на геодезическия екип. Записани са 4191 точки, като времетраенето на снимката е около 2 часа и половина, изминатият път с лодка е 15.7 km. Общо заснетата водна площ е около 1.5 km^2. По аналогичен начин е извършена хидрографска снимка на акваторията пред испанската полярна база ”Хуан Карлос I”. В тази снимка са регистрирани 3258 точки на площ от около 60 ha, което отнема около 2 часа. Впоследствие за испанската акватория също е изготвен цифров пространствен модел на морското дъно (Александров, Цановски, 2018).

В 21-та антарктическа експедиция участва ас. инж. Аспарух Камбуров от Минно-геоложкия университет „Св. Иван Рилски”. Целта на изследванията, които се извършват е изследване на влиянието на Слънцето върху измервания с Глобални навигационни спътникови системи (ГНСС) в полярни условия. През 2013 г. настъпва максимумът на 11-годишния цикъл на слънчевата активност, като вследствие на увеличената емисия на радиационни и магнитни потоци от Слънцето, земната йоносфера се активизира. В резултат започват да се отчитат грешки в преминаващите през нея спътникови навигационни сигнали, като понякога се стига дори до загуба на GPS сигнал.

Пет години по-късно, през 2015/2016 г., в 24-та експедиция участват едновременно четирима български геодезисти. Представители на Геодезическия факултет на УАСГ са отново доц. д-р инж. Борислав Александров и гл.ас. д-р инж. Юри Цановски, а полк. инж. Петър Данчев и кап. д-р инж. Георги Михайлов са от Военно-географската служба при МО. Те изпълняват важен геодезически проект за създаване на цифрова едромащабна топографска карта за района на БАБ по поръчка на Агенцията по геодезия, картография и кадастър към МРРБ. За първи път геодезистите използват безпилотна летателна система (БЛС) и съвременна хидрографска система за заснемане дъното на Южния залив на о-в Ливингстън. Използвани са и три двучестотни ГНСС приемника. Осъществяването на пилотна хидрографска снимка в акваторията на БАБ на о-в Ливингстън поставя началото на нова научна и научно-приложна насока в геодезическите дейности. Използването на съвременен метод за изследване дъното на морска акватория, извършван на базата на синхронизирани ехолотна и спътникова части, позволява бързо и оперативно получаване на информация за подводния релеф в залива и постигане на необходимата точност в планово и дълбочинно отношение. Създаден е цифров модел на сушата и дъното на акваторията пред БАБ в мащаб М 1: 2 000. Детайлната батиметрична карта позволява използването ѝ при дебаркиране на лодки на брега и за обозначаване на безопасни морски пътища и котвени стоянки за големи кораби. Определено е и мястото на безопасната за плаване зона, ограничена от 20 m изобата. Хидрографските дейности и изследвания на о-в Ливингстън поставят начало на периодично провеждани измервания, като перспективата е да се извършват циклично за получаване на достоверни факти, изясняващи глобалните промени на климата. Въз основа на геодезическите измервания и последващата им обработка през 2016 г. от ВГС е издадена топографска карта от 2 листа (Фиг. 3) (Александров, 2020).

По време на юбилейната 25-та българска антарктическа експедиция (2016/2017г.) участие вземат гл.ас д-р инж. Аспарух Камбуров от МГУ „Св. Иван Рилски”, полк. инж. Петър Данчев и кап. д-р инж. Георги Михайлов от ВГС при МО. Увеличена е заснетата с БЛС площ, а резултатите са ползвани при изработване и допълване съдържанието на топографските карти.

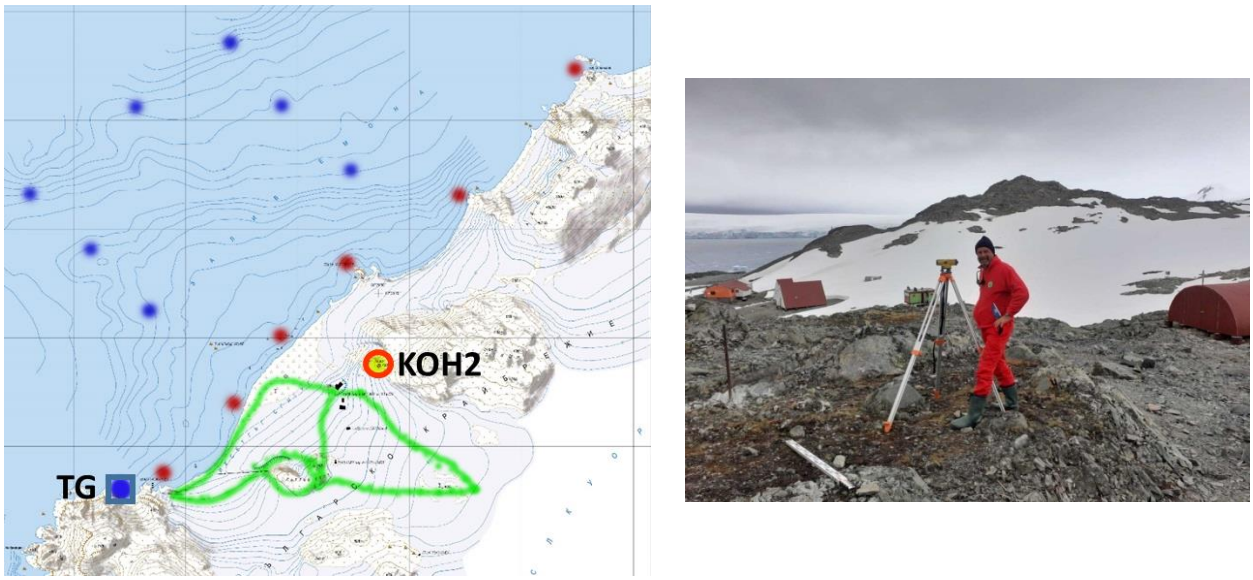


Фигура 3. Топографска карта за района на БАБ в М 1:2000, 2 листа

Основни резултати от 28-та антарктическа експедиция през астрално лято 2019/2020 г.

През годините геодезическите дейности са насочени към изграждане на дългосрочна научноизследователска инфраструктура. По време на 26 експедиция (2017/2018 г.) пробно се инсталира автоматизиран мареограф в Южния залив. Регистрацията на измененията на нивото са за период от 45 дни, като впоследствие той е преместен и инсталиран на друго място в следваща експедиция.
На 13 ноември 2019 г. стартира 28-та Българска антарктическа експедиция. Към БАБ „Св. Климент Охридски“ се отправят 11 българи със задача да разконсервират базата след зимния период и да я подготвят за успешното изпълнение на одобрените научни проекти за антарктическото лято 2019-2020 г. (Александров, 2021). По време на експедицията е поставено началото на изграждане на нова научна лаборатория в БАБ. Проектът за изграждане на нова лаборатория е съобразен със специфичните за Ледения континент тежки климатични натоварвания, особено през зимния период на годината. Бъдещата сграда ще бъде със закрита площ от 330 m^2, повдигната над терена на не по-малко от 80 cm, върху 32 колони, всяка издигната върху бетонен фундамент с размери 1x1 m.
След одобряване на проект с ръководител арх. Пенка Станчева, е взето решение да се започнат техническите дейности по трасиране на проекта върху терена. Геодезическа работа по трасиране и координиране на фундаментите на Лабораторията извършена от доц. Борислав Александров. Поради липсата на достатъчно подробна топографска карта с точност до сантиметри, се налага преместване на бъдещата сграда, съобразно особеностите на реалния терен. Това изместване е от порядъка на 3m със завъртане от около 5^0 на бъдещата конструкция. След обозначаването на всички фундаменти е направена геометрична нивелация, чрез която всяка колона получава кота, изчислена от известен репер в развитата геодезическа мрежа. За първи път в българските експедиции при геодезическите измервания е използван технически нивелир, с който са направени няколко важни нивелачни хода. Чрез геометрична нивелация са определени: височината на водоизточника над постройките, превишението между основната сграда и мястото за дебаркиране и стоварване на експедиционен багаж, денивелацията между съществуващата база и бъдещата Лаборатория.

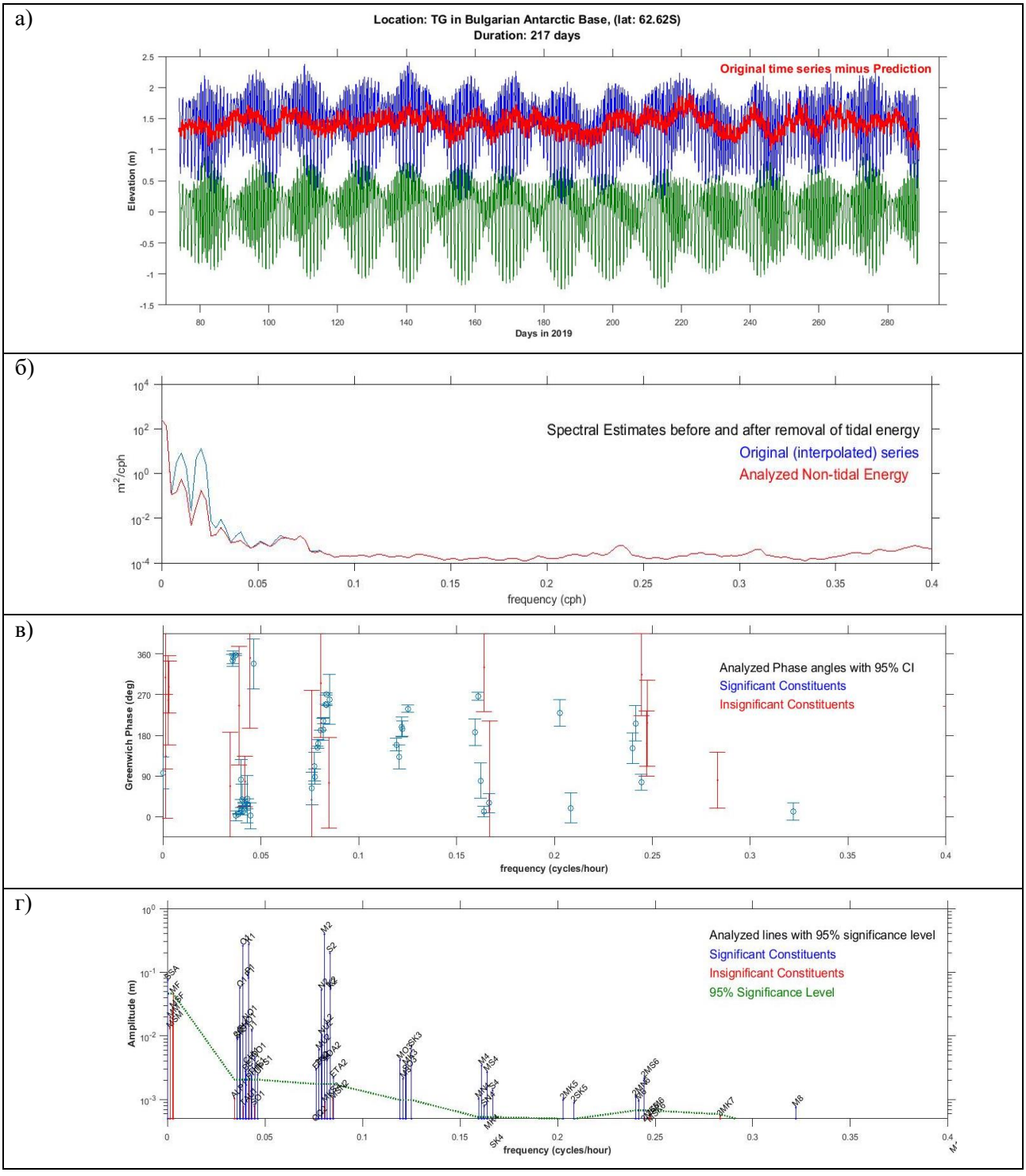
За първи път е извършено експериментално изследване на океанската вода, като са измерени соленост, проводимост и температура (Фиг. 4а). За целта е използван сензор, чрез който се регистрират малки промени в солеността на водата (в диапазона ±5000 μS/cm). Чрез оптична USB базова станция BASE-U-4 е извършено прочитане на данните от записите във водата. Целта е да се изследва връзката между измененията на солеността и проводимостта на морската вода и вариациите на морското ниво, записвани първоначално през сезона на 28-та експедиция, а впоследствие и целогодишно. Първоначалните измервания и анализи показват логични промени в стойността на солеността в районите с плаващи ледени късове, около брега, както и в дълбочина (Александров, 2020). Направени са измервания за същите параметри на водата на дълбочини в диапазона 0.1 m - 8 m. Средните стойности на солеността са, съответно на брега 17.7 – 22.7‰, в залива от 23.0 – 24.1 ‰ и в залива при вода без ледени късове – 27.5 ‰. Средна стойност на температурата на океанската вода 0.9 - 1.0˚C. Извеждането на количествена връзка между солеността на водата и измереното морско ниво се очаква да даде информация за влиянието на климатични промени в района на о-в Ливингстън, имайки предвид непрекъснато топящите се ледници, повишаването на нивото и температурата на световния океан.



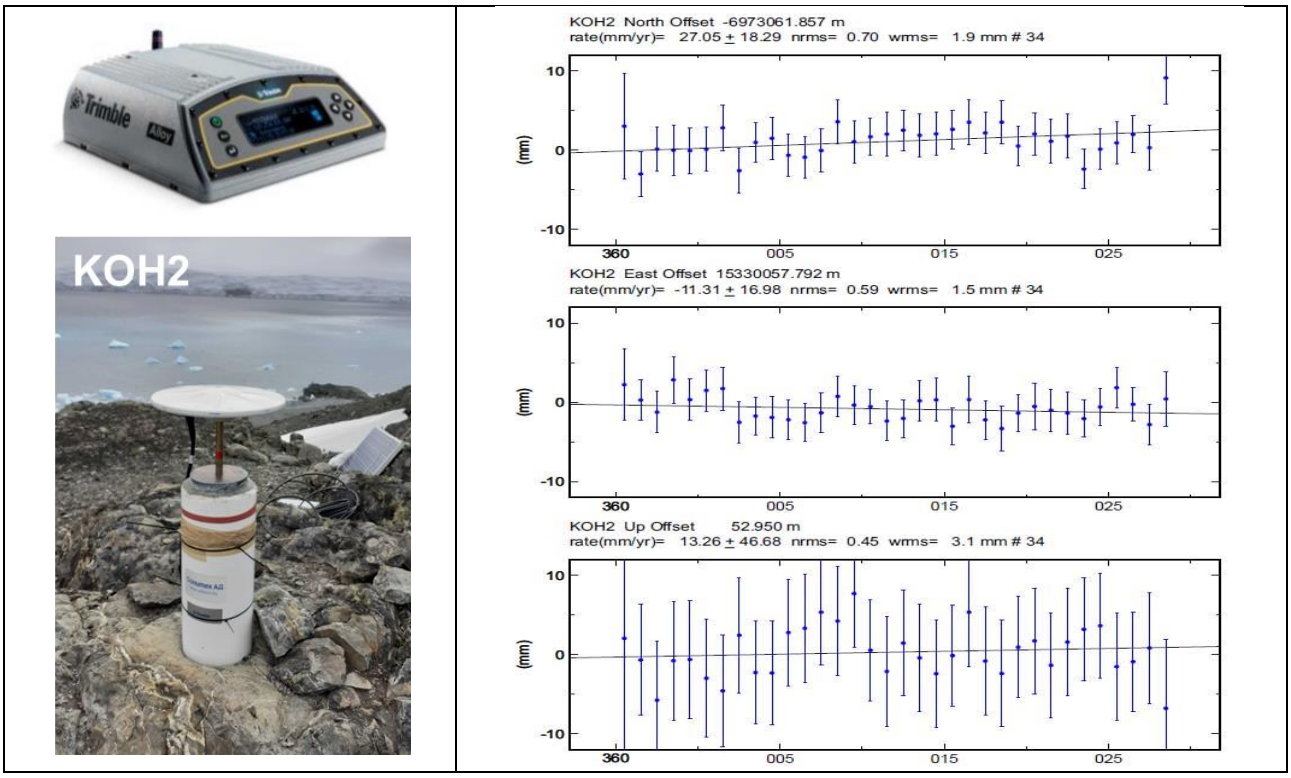
Фигура 4. а) Разположение на геодезически точки в БАБ: КОН-2 перманентна ГНСС станция, TG – марегораф, точки, в които са измерени соленост и температура (в синьо – в акваторията и в червено – до брега), б) извършване на нивелачни измервания (означените в зелено линии на фиг. 4а)

По време на 28-та експедиция е инсталирана повторно, но на друго място, мареографната станция с непрекъснато регистриране на морското ниво (Фиг. 4а). Инсталиран е хидростатичен сензор от тип Valeport, чрез който е извършен непрекъснат запис на вариациите на морското ниво за период от 9 месеца с две прекъсвания от няколко часа - от 9 януари до 16 октомври 2019 г. Регистрацията е на всеки 15 минути. При рязко влошаване на времето и тежък ледоход в залива на о-в Ливингстън, на 16 октомври 2019 г. се прекъсва захранващият кабел и датчикът спира да записва. Данните от 15-минутните регистрации на измененията на морското ниво за периода 14 март 2019 г. - 16 октомври 2019 г. са обработени и са оценени основни хармонични съставящи (Alexandrov, Pashova, 2021). Обработката е извършена със софтуерната програма T_tide (Pawlowicz et al., 2002). Резултатите са представени на фиг. 5. Статистическите оценки на приливите и отливите показва, че те са от смесен тип с преобладаващи полудневни приливни съставящи. Получените резултати са сравнени с публикувани от чужди автори изследвания за определяне на приливни съставящи, главно испански, за региона на о-в Ливингстън и съседния о-в Дисепшън. Установено е сходство в стойностите на основните приливни съставящи. Предстои допълнително изследване за установени по-големи разлики във фазите на някои хармонични съставящи, с цел тяхното изясняване.
През м. декември 2019г. е инсталиран ГНСС приемник R 9s с 672 канала на запис, който приема

сигнали от навигационните системи GPS, GLONASS, SBAS, WAAS и EGNOS. Перманентната ГНСС станция, оборудвана с антена Trimble Geodetic Zephyr 3, стабилизирана на 15 cm над месинговата плоча на стълб с принудително центриране, започва да работи на 24.12.2019 г. Точката е маркирана като KOH2 (Фиг.4а) с координати $62^0$38’24”.4 S, $60^0$21’49”.4 W в ГРС WGS’84. Резултатите от предварителната обработка на 37-дневните ГНСС наблюдения са представени на фиг. 6. Данните са обработени от д-р Валентин Коцев с професионалния софтуер GAMIT/GLOBK, разработен от Департамента по земни, атмосферни и планетарни науки на Масачузетския университет, САЩ.



Фигура 5. Резултати от обработка на мареографните наблюдения: а) оригинални и прогнозни стойности на морското ниво; б) спектрални оценки на приливната енергия; в) приливни съставящи с 95% доверителна вероятност; г) значими приливни съставящи



Фигура 6. Резултати от предварителната обработка на ГНСС измерванията в точка KOH2

Използване на съвременни спътникови данни за полярни изследвания

Спътниковите дистанционни наблюдения са основният инструмент за измерване на глобалните промени в сушата, океана, биосферата и атмосферата. През последните три десетилетия активните технологии за дистанционно наблюдение позволиха все по-точно измерване на различни параметри на околната среда за изследване на процесите, протичащи в и около Земята. В този контекст, съществен принос за изследване на глобалното земно гравитационно поле имат спътниковите гравитационни мисии GRACE, CHAMP и GOCE (https://com2.iag-aig.org/sub-commission-23). Успешното реализиране на мисиите CHAMP на Германия (2000), GRACE на САЩ (2002), ESA GOCE (2009) и GRACE-FO на САЩ / Германия (2018) доведоха до революция в картографирането на глобалното гравитационно поле. Тези спътникови мисии са единствените системи, чрез които може директно да се наблюдава разпределението на масите и масовия транспорт в тялото на Земята. Данните от мисията GRACE са обработени и са получени последователни 15-годишни модели на глобалното гравитационно поле и неговите времеви вариации до юни 2017 г. GOCE предостави данни за извеждане на модели на статичното гравитационно поле с висока точност и голяма разделителна способност. В комбинация с допълнителна информация за гравитационното поле от наземни данни и спътникова алтиметрия може да се постигне още по-висока пространствена разделителна способност. Глобалните модели на статичното гравитационно поле на Земята са от решаващо значение за геофизичните и геодезическите приложения (Ince et al., 2019). Спътниковите гравиметрични данни са особено ценни за извеждане на нови комбинирани модели на земната гравитация с висока разделителна способност и са основна стъпка напред към решаване на проблема с осигуряване на геодезически данни за полярните региони. Те предоставят нов инструмент за изследване в континентален мащаб на литосферната структура и геоложката еволюция на Антарктида. Най-новият глобален модел на земното гравитационно поле е GOCO06s, изчислен в рамките на проекта GOCO (Gravity Observation Combination), е получен само от спътникови измервания (Kvas et al., 2021). Той се основава на над милиард наблюдения, придобити за

последните 15 години от 19 спътника. Използвани са преработени данни от мисиите GRACE и GOCE, актуализирани са основните модели и са направени съществени подобрения в последователността от обработка на данните и тяхното комбиниране. Поради дългия период на наблюдение, GOCO06s моделът се състои не само от статично гравитационно поле, но включва допълнително моделирани времеви вариации. Подходящото моделиране на шума за използваните наблюдения води до реалистична информация за точността на полученото решение за гравитационното поле. Тази информация за точността, представена от пълната дисперсионно-ковариационна матрица, е изключително полезна за по-нататъшно комбиниране с данни за земната гравитация и се публикува заедно с решението. Спътниковите мисии GRACE, CHAMP и GOCE и последващите ги нови такива осигуряват ценни данни, които се използват в геонауките, като геодезия, хидрология, океанография, глациология и физика на твърдата Земя. Гравитационните модели са достъпни на сайта на Международната асоциация по геодезия (http://icgem.gfz-potsdam.de/home).
Наличните от 90-те години спътниковите радарни, а по-късно и лазерни наблюдения се използват за изследване динамиката на ледниците, проследяване на обемното им изменение, оценка на приноса им във водния баланс при определяне повишаването на морското равнище и при симулации с глобални климатични модели. Съвременният подход за обработка и анализ на спътникови наблюдения, се основава на необходимостта от съставяне на времеви редове от спътникови изображения на цели континенти и оценка на тяхната точност. Определянето на заземяващата линия на морските ледници, където ледът започва да се носи в океанските води, е от решаващо значение при дългосрочни проучвания. Този подход е приложен от Mohajerani et al. (2021) за картографиране на индуцираната от приливите и отливите заземителна линия около Антарктида като са използвани 22 935 интерферограми. Обработеният огромен обем от радарни изображения е анализиран с използване на съвременни интелигентни методи - конволюционни невронни мрежи. Приложената процедура за откриване на заземителни линии е сравнима с ефективността, която се постига с използване на експертно човешко знание. Интелигентните методи значително повишават ефективността за автоматично разпознаване на образи, извършване на бърз анализ на големи по обем масиви от данни и оценка на тяхната точност, и намират все по-широко приложение в науките за Земята.

Заключение

През последните три десетилетия български учени работят на Белия континент и те доказаха потенциала на българската наука. С научните резултати, получени от изпълнението на изследователски проекти в различни научни области, бе показана полезността от присъствието на български изследователски екипи в Антарктида. Атестат за това как се оценяват постиженията на българските екипи, работещи на о-в Ливингстън, е търсенето им като желан партньор в много и различни международни проекти. Досега седем български геодезисти са допринесли за развитието на геодезическата наука и практика в екстремните условия на Антарктида и са част от утвърдените експерти, които допълват знанията за най-суровия континент на Земята.
Дейностите, залегнали в актуализираната програма за БАИ са свързани с последните изследователски теми от международен интерес. Те включват даване на научно обяснение на последните промени в климатичната система чрез извършване на непрекъснати и дългосрочни наблюдения на ключови параметри за оценка на променящия се глобален климат, оценяване влиянието на човека върху климатичната система, проучване на процесите на обратна връзка и използване на данните при симулации на климатични модели.

Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на Българския антарктически институт за подкрепата за участието на доц. Борислав Александров в 6 антарктически експедиции и предоставената информация, използвана в настоящия доклад.

Литература

Александров, Б., Димитров, Д. „Антарктика – свирепа красота“, сп.“ГКЗ“, бр.1, 1999.

Александров, Б. „Геодезически дейности на остров Ливингстън, Антарктика“, Дисертация, УАСГ, София, 2011.

Александров, Б., Цановски, Ю. „Българската антарктическа мисия и приносът на УАСГ за нея, Годишник УАСГ, Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“ т. 51, бр. 9, стр. 177-191, 2018.

Александров, Б. „Изследване на основни физико-химични параметри на морската вода в акваторията на българската антарктическа база на о-в Ливингстън“, XXX Международен симпозиум “Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, София, 04 – 06 ноември 2020 г., http://symp2020.geodesy-union.org/, 2020.

Александров, Б. „Геодезическата наука и практика в 28-та българска антарктическа експедиция“, Годишник на УАСГ, т. 54, бр. 1, 191-199, 2021.

БАБ, Българска антарктическа база, https://bab-bg.weebly.com/ (28 май 2021)

БАИ, Български антарктически институт, Национална програма за полярни изследвания 2017-2021 г., - https://bai-bg.weebly.com (28 май 2021)

Alexandrov, B., Pashova L. “Bulgarian geodetic contribution to the multidisciplinary research on Livingston Island for the period 1998 - 2020”, First workshop of the Inter-Commission Committee on Geodesy for Climate Research of the International Association of Geodesy, March 29-31, 2021, https://iccc.iag-aig.org/iccc-workshops/ws21

Mohajerani, Y., Jeong, S., Scheuchl, B. et al. Automatic delineation of glacier grounding lines in differential interferometric synthetic-aperture radar data using deep learning. Sci Rep 11, 4992 https://doi.org/10.1038/s41598-021-84309-3, 2021.

Ince, E. S., Barthelmes, F., Reißland, S., Elger, K., Förste, C., Flechtner, F., and Schuh, H.: ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services, and future plans, Earth Syst. Sci. Data, 11, 647–674, https://doi.org/10.5194/essd-11-647-2019, 2019.

Kvas, A., Brockmann, J. M., Krauss, S., Schubert, T., Gruber, T., Meyer, U., Mayer-Gürr, T., Schuh, W.-D., Jäggi, A., and Pail, R.: GOCO06s – a satellite-only global gravity field model, Earth Syst. Sci. Data, 13, 99–118, https://doi.org/10.5194/essd-13-99-2021, 2021.

Pawlowicz, R., Beardsley, B., & Lentz, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T_TIDE. Computers & Geosciences, 28(8), 929–937, doi:10.1016/s0098-3004(02)00013-4, 2002.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N2

Assessment of the ground displacements in urban and industrial areas using DInSAR time series

Hristo Nikolov[1], *Mila Atanasova* [2]

[1] *Space Research and Technology Institute (SRTI) - Bulgarian Academy of Science, e-mail*: *hristo@stil.bas.bg*,
[2] *National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria, e-mail*: *mila_at_zl@abv.bg*

Keywords: ground deformations, DinSAR, time series, technogenic activities

Abstract
The terrain deformations in urban and industrial areas pose serious risk to human lives and cause significant economic losses. One modern method to register them is to use information produced by processing data acquired by satellite borne synthetic aperture radar (SAR). In order to produce this information large time series of SAR data processed by DInSAR method should be available. Thanks to the open data policy of ESA from continuous and regular SAR data acquisitions it was made possible to assess the ongoing surface displacements in the region of the town of Pernik, Bulgaria. In this region a large number of mining and industrial plants are located mainly dealing with coal and steel production and processing serviced by a railways and highways. Also the density of the population in the area is high and for this reason to have large residential and utility areas as well. All mentioned industrial, infrastructural and urban sites could be heavily affected by slow ground movements in case those are not properly and timely monitored. This is the reason the authors created short time series with information produced from ascending and descending orbits of Sentinel-1 mission to assess the ongoing geodynamic processes in this region. Those results could be used by the local authorities to prepare plans for mitigation of those unfavourable impacts.

Оценка на земните премествания в урбанизирани и промишлени райони посредством DInSAR времева серия

Христо Николов[1], *Мила Атанасова*[2]

[1] *Институт за космически изследвания и технологии; ул. "Акад. Георги Бончев" бл. 1, София 1113; e-mail*: *hristo@stil.bas.bg*
[2] *Национален институт по геофизика, геодезия и география; Българска академия на науките, София 1113, ул. "Акад. Георги Бончев" бл. 3, София 1113, България; e-mail: mila_at_zl@abv.bg*

Ключови думи: деформации на земната кора, DinSAR, времева серия, техногенни дейности

Резюме
Текст на резюмето до половин страница.
Деформациите на терена в градски и индустриални зони представляват сериозен риск за човешкия живот и причиняват значителни икономически загуби. Един съвременен метод за тяхното регистриране е използването на информация, получена чрез обработка на данни получени от сателитенобазирани радари със синтезирана апертура (РСА). За да се получи тази информация е необходимо да са има големи времеви редове от тези данни, обработени по метод DInSAR. Благодарение на политиката за отворени данни на ESA от непрекъснато и регулярно регистриране на данни от РСА стана възможно да се направят оценки на текущите премествания на земната повърхност в района на град Перник. В този регион са разположени голям брой минни и промишлени предприятия, занимаващи се главно с производство и преработка на въглища и стомана, които са обслужвани от железопътни линии и магистрали. Също така плътността на населението в района е висока и поради тази причина там има и големи жилищни площи и обслужващата ги инфраструктура. Всички споменати промишлени, инфраструктурни и градски обекти могат да бъдат силно засегнати от бавни движения на земната кора, ако те не са правилно проследени във времето. Това е причината авторите да създадат кратки времеви редове с информация за тях получена от възходящи и низходящи орбити на мисията Sentinel-1 за да оценят протичащите геодинамични процеси в този регион. Тези резултати могат да бъдат използвани от местните власти за изготвяне на планове за смекчаване на тези неблагоприятни въздействия.

Въведение

Пернишката котловина се намира в централната част на Западна България, която представлява негативна котловинна депресия с младопалеогенска възраст и се разглежда като отделна тектонска единица, характеризираща се със сложен тектонски строеж, който е резултат от многобройни тектонски фази и отличаваща се рязко от съседните котловини. Тя е разположена между планините Люлин и Витоша на североизток и изток, Голо бърдо на юг – югоизток и ниския Усоишки рид в западна поска, а на север-северозапад котловината достига до малката котловина до с. Мещица. При тези граници площта й е около 200 km^2. (Власков, 2015) В исторически план в този район техногенните изменения в ландшафта започват с началото експлоатацията на въгледобивни мини в края на 19$^{-ти}$ век, а впоследствие и на мини доставящи варовик, който се използвал за производство на цимент и вар (вж. Фигура 1). Това е и причината да има достатъчно данни за геоложкия строеж на котловината, който включва слабоустойчиви, силно податливи на ерозия приабонски мергели, конгломерати, пясъчници и нечисти въглищни прослойки. При активната експлоатация на въглищните запаси са засегнати общо 49 km^2 като от тях около 20 km^2 са подземни.



Фигура 1. Местоположение на минните изработки разработвани по подземен и открит способ. (по Карта на рудниците)

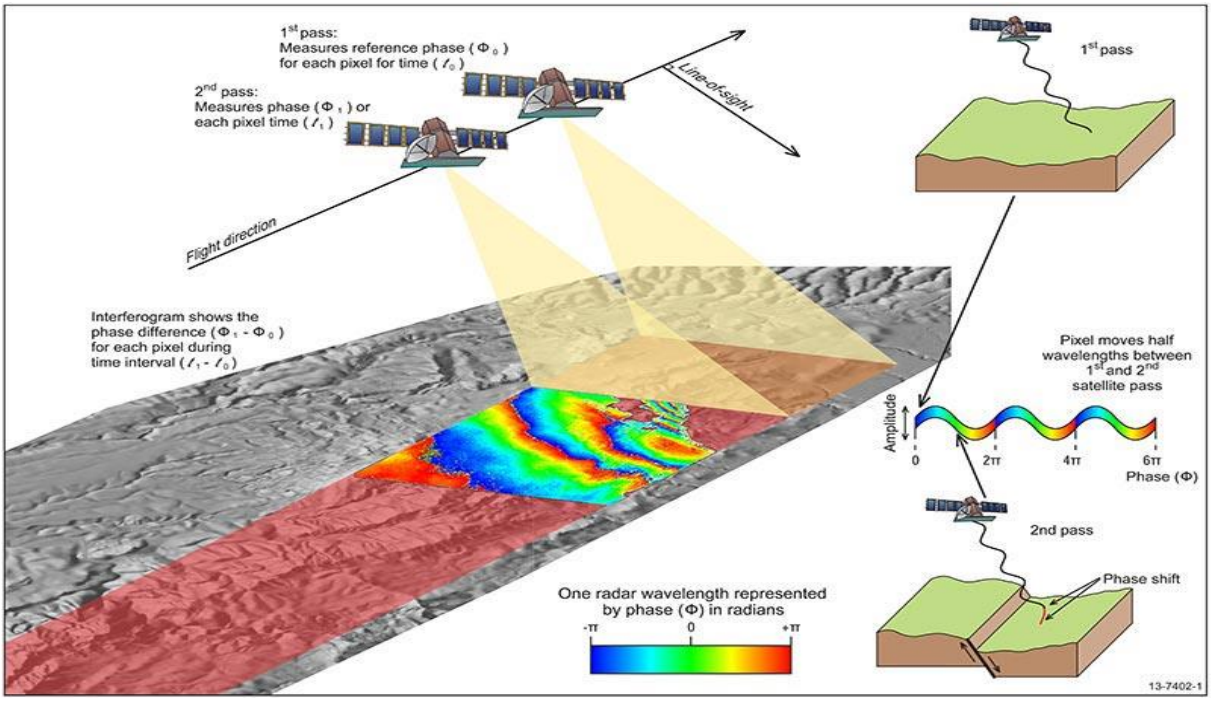
Споменатите в преходния абзац човешки дейности, както и геоложкия строеж на района, са в основата на протичащи в момента неблагоприятни геодинамични процеси, дължащи се на прекратяване на експлоатацията на използвани в миналото подземни минни изработки без те да бъдат консервирани по начин възпрепятстване на споменатите процеси и дори е преустановено и тяхното отводняване. Като последствие от тях в града се наблюдават множество пропадания на улични платна, жилищни сгради и други обекти от градската инфраструктура. Проблемът става още по-

осезаем и сериозен, защото изоставените минни изработки се запълват с вода, която допринася за появата на слягания и пропадания.
В момента се извършат проучвания и анализи с цел да бъдат предложат проектни решения за развитието на пространствена геодезическа мрежа за наблюдение на движенията и деформациите на земната повърхност и минната маса с обекти с цел организиране на специализиран мониторинг като превантивна мярка с цел опазване на обекти и съоръжения от вредното влияние на миннодобивните работи и последиците от спирането на тяхната експлоатация в района на Пернишката котловина за район с обща площ 175.7 ha. Позициите на геодезическите марки се определят въз основа на съществуващата информация от равнините на известните подземни галерии и кадастралната карта на града. Геодезическата мрежа включва около 362 комбинирани земни маркери, 708 контролирани стенни репери и 27 дълбочини изравнителни еталони. (Kaltchev, 2019).
От казаното по-горе става ясно, че съществува реален проблем за нормалното функциониране на градската и индустриална инфраструктура в града и най-вече заплаха за живота на населението. Предприетите до момента мерки осигуряват наблюдения само на една сравнително малка част от засегнатите територии и в повечето случаи след настъпване на неблагоприятно събитие. Очевидна е нуждата от осигуряване на продължителен мониторинг на споменатите негативни геодинамични процеси и то за площи с размери доста по-големи от текущо изследваните. Затова в тази статия е предложен метод, който би осигурил регулярния мониторинг за територията на гр. Перник и неговите околности, позволяващ оценка на протичащите деформации. Резултатите от подобен мониторинг в този район биха могли да намерят приложение и при проследяване на деформации, дължащи се на естествени геоложки опасности като например земетресения и свлачища.

Метод DInSAR

Методът DInSAR е подходящ за измерване на пространствения обхват и степента на повърхностни деформации, свързани с природните опасности (земетресения, вулкани, свлачища, тектонски движения). Често е получаваните по този метод данни са икономически по-изгодни от измерването в отделни точки посредством трудоемки теренни проучвания чрез нивелиране и използване на глобалната навигационна спътникова система (GNSS). Освен това той може да осигури данни милиони точки от данни в регион около 10 000 km^2. Чрез идентифициране на специфични области на деформация в по-широки области от интерес интерферометричните изображения от DInSAR могат да се използват и за позициониране на специализирани уреди (като екстензометри, локални GNSS мрежи и нивелачни линии), предназначени за прецизно измерване и наблюдение на деформацията на повърхността в ограничени зони, в точки за които е установено, че протичат деформационни процеси.
Предимство предлагано от метода DInSAR, е възможността да се регистрират промени на земната повърхност в рамките на големи (над 50 km^2) или труднодостъпни (с наклони над 30^o) площи от земната повърхност, като по този начин се доставя повече информация отколкото чрез получаване при преки теренни измервания. Това не означава, че този метод може напълно да замести измерванията във вече определени точки, а по-скоро да предостави количествени данни относно движенията на повърхността за по-големи площи в изследваната област. Една особеност на метода е, че той е относителен във времето (т.е. резултатите са валидни само за периода, в който са получени данните) и относителен спрямо конкретна точка, намираща се в района и за която са известни параметрите за деформациите в нея.
Методът на диференциална интерферометрия на РСА (DInSAR) се основава на обработката на две РСА изображения регистрирани върху на една и съща част от повърхността на Земята получени в различни от моменти време (вж. Фигура 2). При метода на диференциалната интерферометрия с повторно преминаване на носителя откриването и количественото определяне на земните премествания настъпили между двете дати на получаване на данните може да се постигне чрез тяхната съвместна обработка. В резултат на тази обработка се получава изображение наречено диференциална интерферограма (растерно интерферометрично изображение), от което след допълнителни изчисления е възможно да бъдат определени земните премествания в хоризонтална и вертикална равнини, които са настъпили между регистрирането на данните със сантиметрова точност (Massonnet and Feigl, 1998) и пространствена разделителна способност (ПРС), която варира в

зависимост от режима на работа на РСА[1]. Изместването се изчислява чрез диференциране на фазовия компонент на двете основни SAR изображения след премахване на ефекти, дължащи се на топографията на изследвания район.
За изследване на дефомационни процеси са необходими РСА изображения (Single Look Complex product type), които представляват масив от комплексни стойности, включващи информация за амплитудата и фазовото изместване на обратно разсеяния от земната повърхност радарен сигнал. Фазовото изместване от единично РСА изображение само по себе си не предоставя никаква полезна информация. Разликата във фазовите сигнали или интерферограмата между две регистрации на РСА данни със съвместими геометрии обаче съдържа информация за топографията на повърхността и възможните измествания на земната повърхност по визирната линия на радара (LOS) към земната повърхност. По-конкретно, DInSAR е метод прилаган за получаване на повърхностни деформации чрез елиминиране влиянието на терена. Множество други фактори, като например геометрична декорелация, времева декорелация, неточна информация за орбитата, атмосферни смущения, шум от сензора и други допринасят за формиране на разлики във фазовия сигнал, но те не предоставят полезна информация при регистриране на деформации и затова тяхното влияние трябва да бъде премахнато или поне намалено.



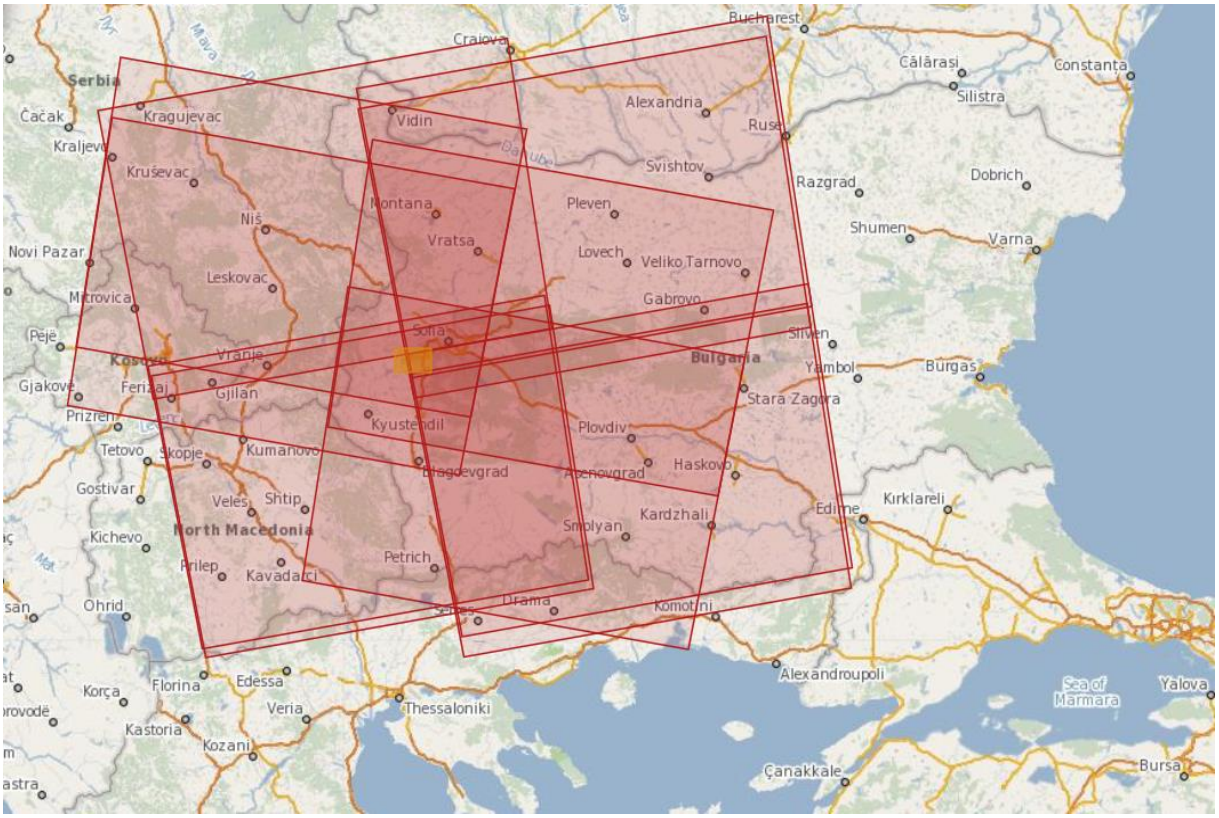
Фигура 2 Интерферограма, създадена чрез използване на две РСА изображения ()

Използвани данни

Основен източник на обработваните в рамките на това изследване данни от РСА са данни от Sentinel-1 под формата на изображения на амплитудния и фазовия сигнали, които заедно с метаданните към тях формират конкретен продукт (за изследване на деформационни процеси форматът трябва да включва и както амплитудния, така и фазовия сигнали). Резултатите се получават, прилагайки метод на диферренциалната радарна интерферометрия (DInSAR). При него важен елемент е да се отчете влиянието на релефа във фазовия сигнал и то се елиминира с помощта на външен цифров модел на релефа (ЦМР). След тази обработка останалите промени в интерферограмата може да се отдадат основно на настъпили промени по земната повърхност, които са регистрирани между двете дати на регистриране на изображенията, както и на нежелани атмосферни ефекти.

[1] За Sentinel-1 основния режим е с ПРС 15x15 m, а ПРС при други напр. TerraSAR-X може да бъде 1x1 m.

Използваните PCA данни са регистрирани от констелацията, състояща се от два сателита (A и B) на мисията Sentinel-1, които са свободно разпространявани чрез хранилища на данни поддържани от ESA. Всеки един от сателитите има време повторно преминаване от 12 дни, което означава, че една и съща част от земната повърхност се регистрира на всеки 6 дни от един от двата сателита . Основната апаратура на всеки един от двата сателита е радар в C-диапазона (съответстващ на дължина на вълната от 5.56 см) с дясно ориентирана визирна линия (LOS) независимо от посоката на орбитата му. За прилагане на интерферометрична обработка трябва да се използват данни във формат SLC, получени в IW режим, тъй като при него се получава не само амплитудата на отразения от земната повърхност сигнал, но и неговата фаза. Фазовият сигнал е от решаващо значение, тъй като след подходяща тематична обработка той предоставя информация за промените в разстоянието между наблюдаваните обекти от земната повърхност и двата сателита в момента на тяхното преминаване.
Преместванията се определят количествено по посоката на визирната линия (Line of sight-LOS) на PCA апаратурата определена от положението на сателита; В регистрирания вектор по LOS са включени както хоризонталните така и вертикалните измествания. За количествено определяне на сляганeто се приема, че доминира вертикалното движение /потъването/ и измерените измествания по LoS се проектират вертикално. Тъй като използваните данни от конкретната PCA апаратура винаги получава данни отдясно по посока на движение на сателита се формират се т.нар. радарни сенки, където визирният лъч недостига. Например при издигната форма на релефа при възходяща орбита ще се получат данни за южните, западните и северните склонове, но източните ще са в зоната на радарна сянка, аналогично при низходящите орбити се получава информация за северни източни и южни склонове, но западните остават незаснети. Това е една от причините за получаване на окончателните резултати и техния анализ да задължително да бъдат използвани PCA данни регистрирани и от двата типа орбити.



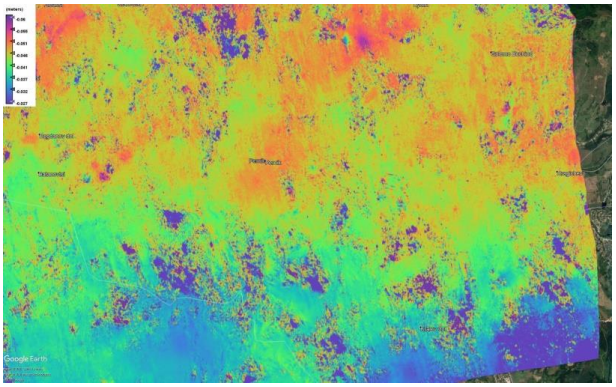
Фигура 3 Сцени с данни от PCA на Sentinel-1 от възходящи и низходящи орбити, осигуряващи покритие на изследвания район.

Резултати

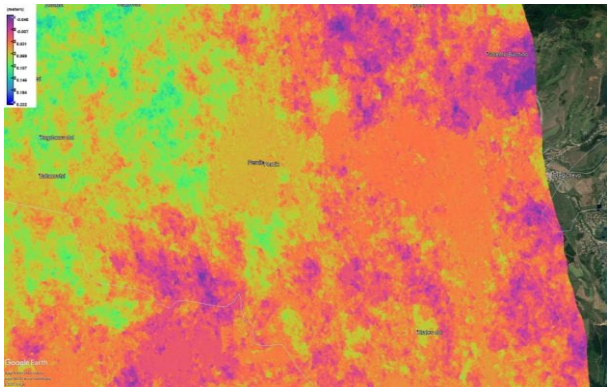
На Фигура 4 б-г по-долу са показани извадки от обработените по изложената методика PCA данни от орбита с номер 102 и получените от тях премествания, включващи района около гр. Перник за показаните под всяка една фигура периоди.



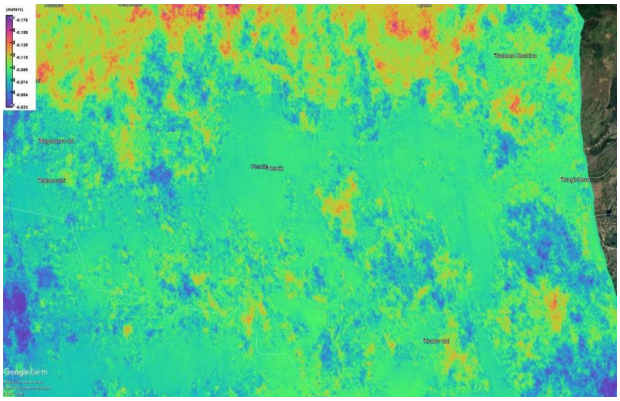
Района в на гр. Перник GoogleEarth
а



03Oct2018_02Nov2018 – възходяща
б



03Oct2018_02Dec2018 – възходяща
в



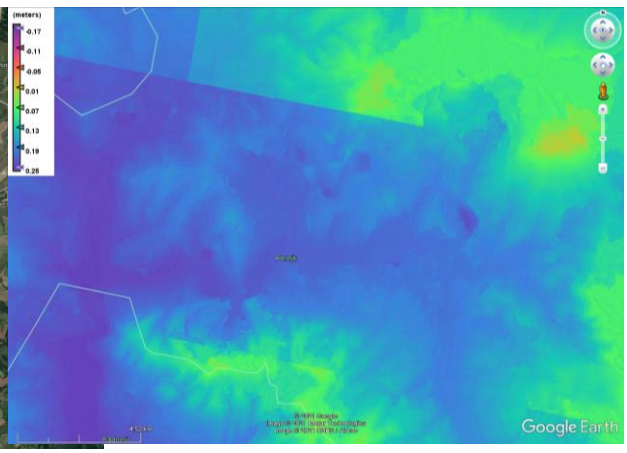
03Oct2018_01Apr2019 – възходяща
г

Фигура 4 Растерен слой с регистрираните деформации от възходяща орбита 102.

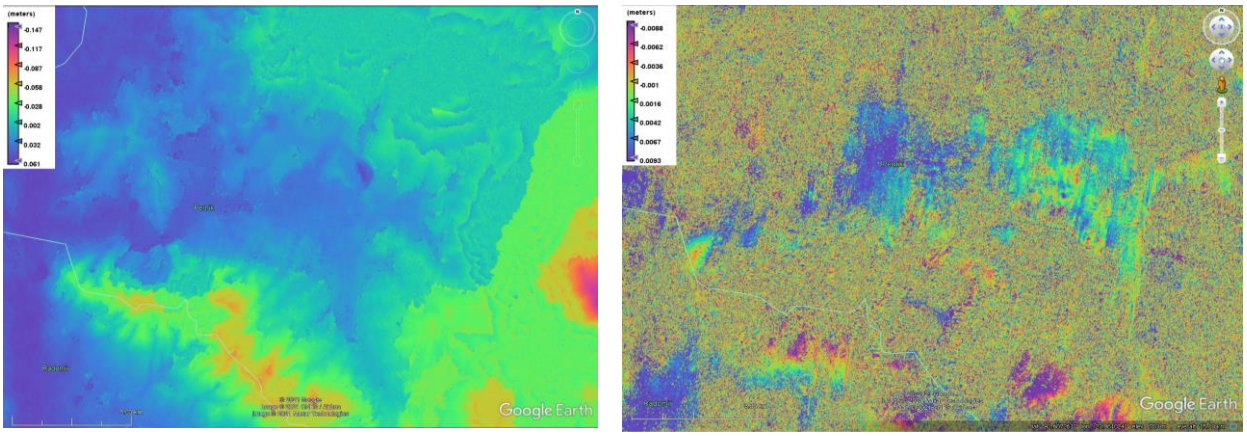
За същия район но за по-кратък времеви период са изчислени по данни от низходяща орбита 80 за същия район настъпилите деформации по земната повърхност (вж. фигура 5 б-г по-долу). В този случай не се регистрират големи премествания, тъй като няма данни за настъпили събития, които биха могли да предизвикат по-значителни движения на повърхността.



Района на гр. Перник в GoogleEarth
а



02Oct2018_08Oct2018 – низходяща
б



02Oct2018_14Oct2018 –низходяща в

02Oct2018_13Dec2018 –низходяща г

Фигура 5 Растерен слой с регистрираните деформации от низходяща орбита 80.

Заключение

От показаните резултати се вижда, че приложения метод предоставя надеждна информация за настъпилите премествания на терена с висока степен на повтаряемост. Последното се доказва от сходните резултати на фигури 4-в и 5-г, като различията се дължат на положението на сателита в момента на получаване на данните, което води до различен ъгъл на визирната линия към терена. Важно е да се отбележи, че формирането на голяма времева поредица от интерферометрични изображения предполага използване на минимум 30 изображения за всяка една орбита и в последствие тяхното съвместяване и анализиране, което бе извън обхвата на настоящото изследване поради липса на достатъчен изчислителен ресурс. Независимо от това получените и представени резултати нееднозначно доказват предимството на използвания метод, като най-вече следва да се отбележи факта, че е възможно получаване на резултати за площи, чието изследване по геодезически методи са времеемки и изискват сериозен финансов ресурс.

Литература

Interferometric Synthetic Aperture Radar, http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/geodetic-techniques/interferometric-synthetic-aperture-radar , (accessed май 2021)

Kaltchev I., Kaltcheva M. “Geodetic monitoring of displacements and deformations for assestment of effect from suspend of exploitation of Pernik mines”, Proceedings of XXIX International symposium on “modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields, pp. 68-84, 2019,

Massonnet D., K. Feigl “Radar interferometry and its application to changes in the earth’s surface”, Rev. Geophys., 36 (4) (1998), pp. 441-500,

Власков В. “Урбанизационни изменения на релефа в пернишката котловина“, Трета международна конференция „Географски науки и образование“, 2013

Карта на рудниците, https://pernik.noit.eu/minesmap.php, (accessed май 2021)

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N3

Determination of deformations of the Earth's crust by DInSAR occurred after the earthquake in the Larissa region on March 3 2021

Mila Atanasova[1], *Hristo Nikolov*[2]

[1] *National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria*, e-mail: *mila_at_zl@abv.bg*
[2] *Institute of Space Research and Technology, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia 1113, Bulgaria*, e-mail: *hristo@stil.bas.bg*

Abstract
Earthquakes are a natural disaster, causing damage that is measured by human lives and destruction of natural and infrastructural sites. Direct consequences of their occurrence cause activation of landslides, ruptures and vibrations of the Earth's surface, tsunamis, etc. In this study, we focused on determining the surface deformation that occurred after the Mw 6.0 earthquake as registered by NOA and USGS /, which occurred on March 3, 2021 at 20 km northwest of the Greek city of Larissa. A valuable source of data on the current state of large land areas of the ground surface is the EU's Copernicus program. One of its components is the two-satellite Sentinel-1 mission, which provides synthesized aperture radar (SAR) data. Based on their data it is possible to determine the deformations of the Earth's crust. In this study, they were used to determine the parameters of deformations caused by a series of earthquakes. SAR data were used to produce information regarding the ground displacements that have occurred after the earthquakes by creating interferometric images from them.

Key words: DinSAR, deformations of the Earth's crust, earthquake

Определяне на деформациите на земната кора посредством DInSAR настъпили след земетресението в района Лариса от 3 март

Мила Атанасова[1], *Христо Николов*[2]
[1] *Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките, София 1113, България*
e-mail: *mila_at_zl@abv.bg*
[2] *Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, София 1113, България*,
e-mail: *hristo@stil.bas.bg*

Ключови думи: *DinSAR, деформации на земната кора, земетресение*

Резюме
Земетресенията са природно бедствие, причиняващо щети, които се измерват с човешки животи и разрушения на природни и инфраструктурни обекти. Преки последствия от тяхното настъпване са предизвиканите, активизиране на свлачища, разкъсвания и вибрации на земната повърхност, цунами. В това изследване сме се фокусирали върху определяне на настъпилите повърхностни деформации след земетресение Mw 6.0 /определено от NOA и USGS/, което се случи на 3 март 2021 г. на 20км северозападно от гръцкия град Лариса. Ценен източник на данни за текущото състояние на земната повърхност в райони е програмата „Коперник“ на ЕС. Един от нейните компоненти е съставената от два сателита мисия Sentinel-1, които осигуряват данни от радар със синтезирана апертура (РСА). Благодарение на тях е възможно определянето на деформации на земната кора. В това изследване те са използвани за определяне параметрите на деформациите настъпили вследствие на земетресението. Данните от РСА бяха използвани за регистриране на настъпилите земни премествания посредством създаването на интерферометрични изображения, от които бе извлечена информация за причинените от земетресението пропадания.

1. Въведение

В сеизмичната зона до Лариса в Гърция на 3 март 2021г. беше регистрирано силно земетресение с магнитуд от 6.0 по Рихтер, което беше усетено и в много южни градове на България както и на поредица последващи земни трусове през следващите дни. Земетресението причини щети по сгради и инфраструктора, но за щастие няма човешки жертви. На фигура 1 е показан епицентъра на земетресението, както и района около него.



Фигура 1 Епицентър на земетресението близо до гр. Лариса 03.03.2021

В Таблица 1 е представена извадка на основното и вторичните земетресения с магнитуд над 5.0 M за периода 3-21 март 2021г. На базата на тях ще се търси обосновка на откритите деформации по данни от PCA на земната повърхност за периодите до затихване на вторичните трусове.

Таблица 1. Параметри на сеизмични събития с магнитуд над 5.0 за района на г. Лариса - март 2021 г.

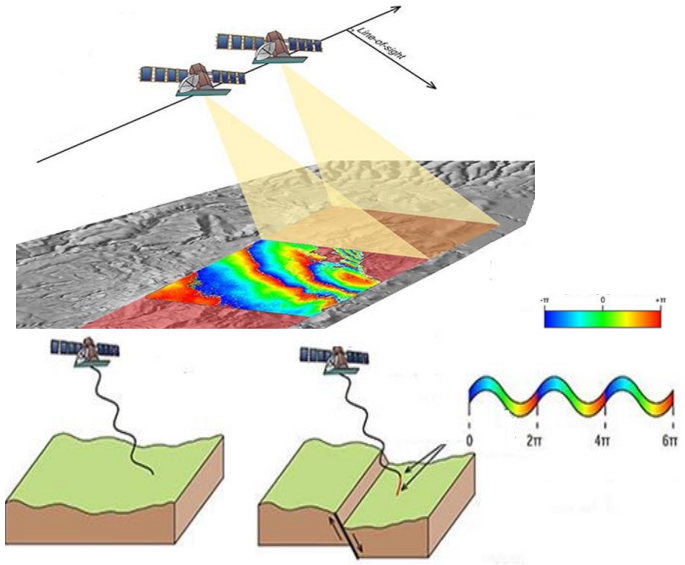
Магнитуд	Дата и час	Географска дължина	Географска ширина
6.0	3. Март 2021 10:16	22.2102	39.7591
5.1	3. Март 2021 11:45	22.2478	39.6996
5.2	3. Март 2021 18:24	22.1013	39.7316
5.9	4. Март 2021 18:38	22.1260	39.7993
5.1	4. Март 2021 19:23	21.9424	39.8373
5.2	12. Март 2021 12:57	22.0134	39.8387

2. Метод и данни

Диференциалната интерферометрия за обработка на PCA данни (DInSAR) получени от дистанционни наблюдения на Земята е метод, който може да се използва за количествено определяне на малки премествания на повърхността. Използвайки данни от сателита Sentinel и прилагайки DInSAR се извършва картографиране на топографията на големи площи, както и регистриране на премествания по повърхоността. В основата на метода DInSAR е използването на две изображения на отразения от земната повърхност фазов сигнал, получени в един и същ регион по различно време е възможно точно измерване на относителните разстояния до конкретен обект. В процеса на обработка на SAR данните

се извършва съвместна регистрация на използваните изображения и след това се генерира диференциална интерферограма, която показва настъпилата деформация въз основа на промяната във фазовия сигнал.

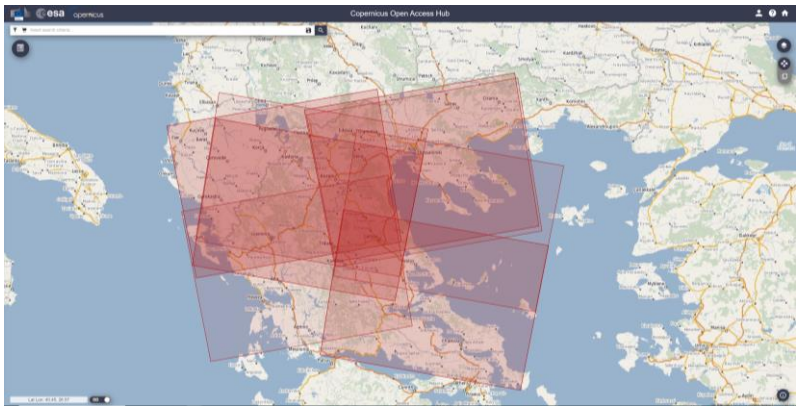
Следва да се има в превид, че регистрираните премествания се определят количествено по посоката на визирната линия на радара (Line of sight-LoS), която се определя от положението на сателита. Във вектора по LoS са включени както хоризонталните, така и вертикалните премествания. За количествено определяне на деформациите за конкретното събитие е прието, че доминира вертикалното движение /потъването/ и измерените премествания по LoS основно се проектират вертикално.



Фигура 2 Основни принципи на метода DInSAR

3. Данни от РСА по метод DInSAR

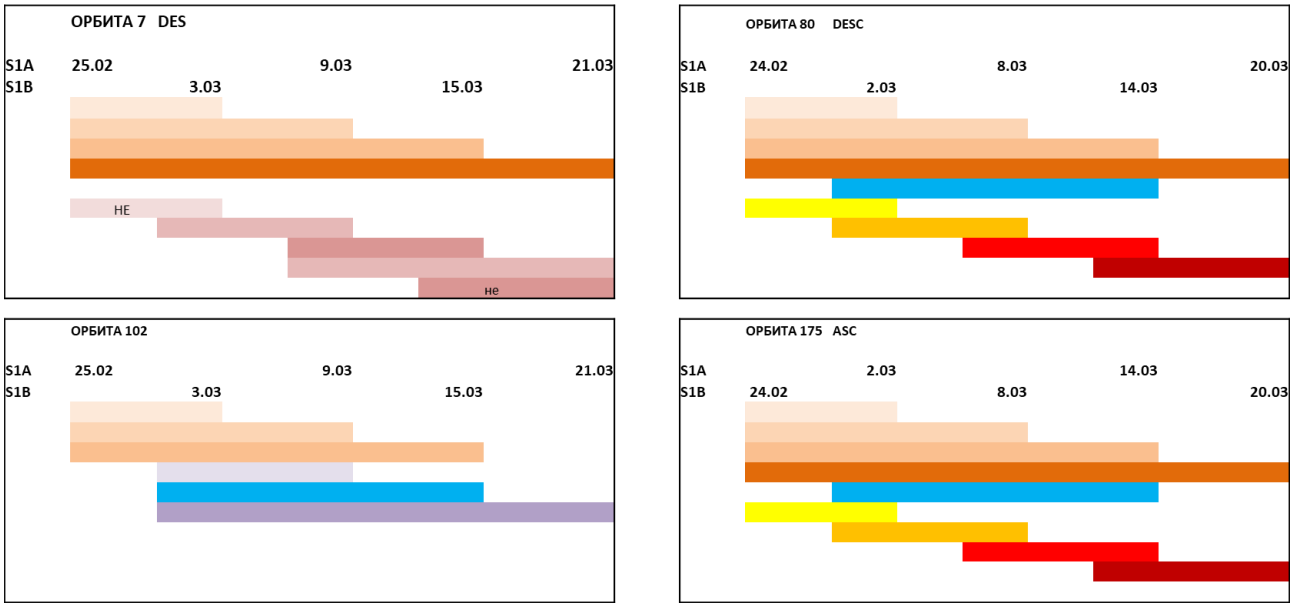
В това изследване основен източник на данни за регистриране на геодинамичните движения са данните от РСА разположен на борда на сателита Sentinel-1A , работещ в С обхват (5.4 GHz). С оглед получаване на достоверна информация относно преместванията настъпили вследствие на земетресението от хранилището за данни поддържано от ЕКА[1] бяха изтеглени изображения, които са от тип SLC[2] получени в режим на РСА.



Фигура 3 Сцени от РСА данни от възходящи 175 и 102 и низходящи 7 и 80 орбити на Sentinel-1A/B, включващи района на епицентъра

[1] Европейска космическа агенция

[2] В този тип данни се съдържа информация за амплитудата и фазата на радиосигнала.



Фигура 4 Орбити и дати на регистриране на SAR изображенията, формиранищи интерферограми

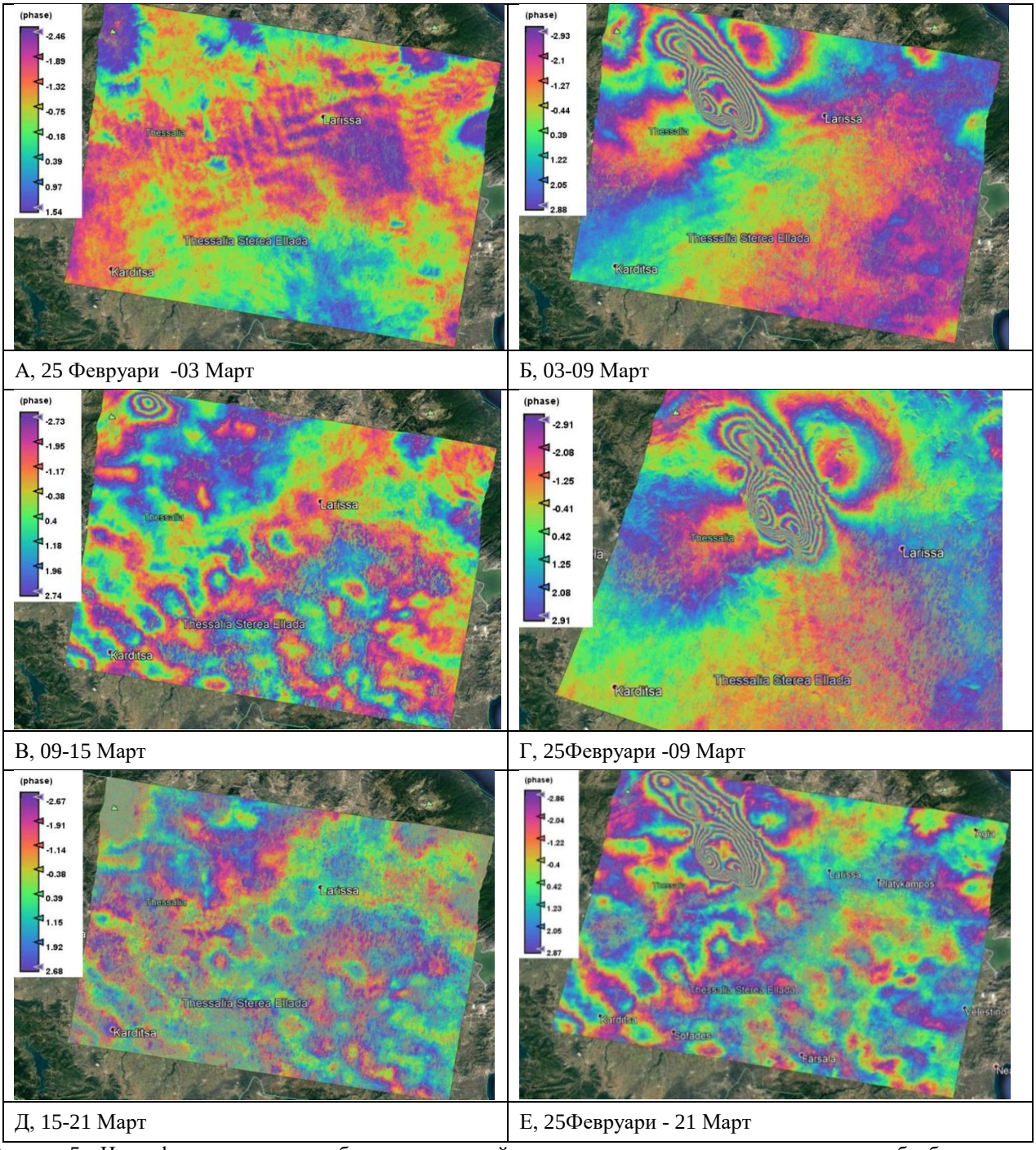
В процеса на тяхната обработка бяха формирани интерферометрични двойки (ИФД) за проследяване на последствията от събитието, като получената информация е изцяло базирана на промените във фазовата съставяща от радарния сигнал отразен от повърхността на Земята. Тази информация, записана във формата на интерферометрични изображения (ИФИ), позволи да се определят стойностите на появилите се деформации. Времевият интервал между ИФД беше подбран така, че да се осигури минимална времева декорелация. Вследствие на това се получиха високи стойности за оценената кохеретност на всяка ИФД още на етапа на тяхното формиране, което бе гаранция за качеството на получаваните от тях резултати на следващите етапи.

Друга особеност при обработката на РСА данните бе избора на типа на използваните орбити – възходяща (посока Ю-С) и низходяща (посока С-Ю). Този избор е важен, защото носителя на РСА винаги насочва приемо-предавателната антена в посока дясно спрямо посоката на движението му. Това определя ъгъла, от който се наблюдават обектите от земната повърхност и посоката на регистрираните относителни премествания, която се определя спрямо носителя на РСА. Тъй като за това конкретно изследване предварително посоката и типа на деформациите не бяха известни се наложи да бъдат обработени данни и от двата типа орбити (вж. фиг. 3 и 4).

Тематичната обработка на данните от РСА беше извършена изцяло посредством създадения и предоставян за свободно ползване програмен продукт SNAP [1], докато за по-добра визуализация и допълнителни анализи бяха използвани и други програмни продукти.

За отстраняване на топографските ефекти в процеса на създаване на интерферометричните изображения бе използван референтен ЦМТ от SRTM[3] с хоризонтална разделителна способност 1arcsec (~30m в хоризонтална равнина). С цел подобряване на съотношението сигнал/шум бе приложен адаптивен филтър към спектрална плътност на мощността на сигнала, който намалява широкоспектърния шум наличен в данните за сметка на намаляване на разделителната способност на изображението. Този филтър има важен принос за подобряване на крайните резултати, тъй като и малки изкривявани на фазовия сигнал водят до неточности.

[3] Shuttle Radar Topography Mission - https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html .



А, 25 Февруари -03 Март | Б, 03-09 Март

В, 09-15 Март | Г, 25Февруари -09 Март

Д, 15-21 Март | Е, 25Февруари - 21 Март

Фигура 5. Интерферометрични изображения на района на земетресението получени от обработката на низходяща орбита 7 за различни времеви периоди

На този етап в самите ИФИ бяха локализирани интерференчните ивици[4] (фиг 5 Б, В, Г, Е), показващи площите, където са протекли деформационни процеси. Всяка ивица съответства на деформация от 28mm и както се вижда на

Фигура -Б за областите в близост до епицентъра се наблюдава поредица ивици.

След прилагане на процедура за разгъване на фазата от ИФИ бяха получени нови изображения, в които се съдържа информация за абсолютните стойности на деформациите на земната кора в метрична

[4] В литературата са познати като interferometric fringes.

система. Получените премествания бяха определени количествено по посоката на визирната линия сателита – LoS. Във вектора по LoS са включени както хоризонталните така и вертикалните измествания. За количествено определяне на слягането се приема, че доминира вертикалното движение /потъването/ и измерените измествания по LoS се проектират вертикално.
При изучаване на този тип събития в много редки случаи е възможно да се разграничат деформациите на земната кора настъпили вследствие само на основния трус от последвалите афтършокове. Обикновено използвайки приложения метод се регистрират сумарните изменения на земната кора за периода между две преминавания на сателитите, който мисията Сентинел е минимум 6 дена. На интерферограмата показана на фигура 3-В (09-15 Март) ясно се виждат настъпилите промени по земната повърхност изобразени в три малки интерферометрични кръга на северозапад от епицентъра. Това може да се обясни с вторичния трус на 12 март с магнитуд 5.2, както и на по-слаби събития[5] (виж фигура 3-В и таблица 1)

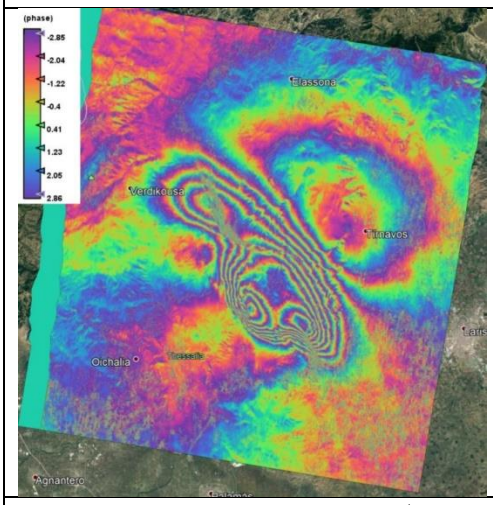
4. Резултати от обработката на данните от РСА за изследваното събитие

На **Error! Reference source not found.** са показани фрагменти от получените ИФИ за района за земетресението от двата типа орбити преди разгъването на фазата, където се виждат фазовите разлики предизвикани от събитието. Наличието на интерференчни ивици в изображенията показани на **Error! Reference source not found.** е свидетелство за факта, че регистрираната от РСА промяна във фазата на отразения радарен сигнал се дължи основно на сеизмичната дейност, а не се дължи на атмосферни смущения. Както се вижда броя интерференчни ивици от възходящата и низходящата орбити е различен. Този факт се обяснява с различната геометрия в момента на получаване на РСА данните т.е. на различната посока, в която е насочена приемната антена при двата типа орбити. И в двата случая регистрираните деформации са отчетени по посоката на наблюдение на РСА и са от порядъка на -10см;-30см с отрицателен знак. Оттук може да се направи заключението, че типа на регистрираната по данните от РСА деформация е пропадане.

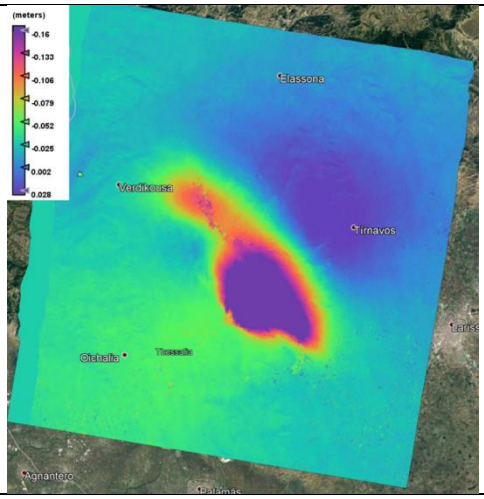
Низходящи орбити, при които LoS е в посока И-З



7 орбита 03-15 март



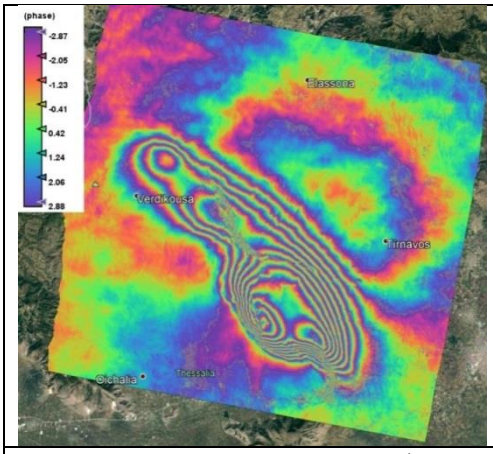
A



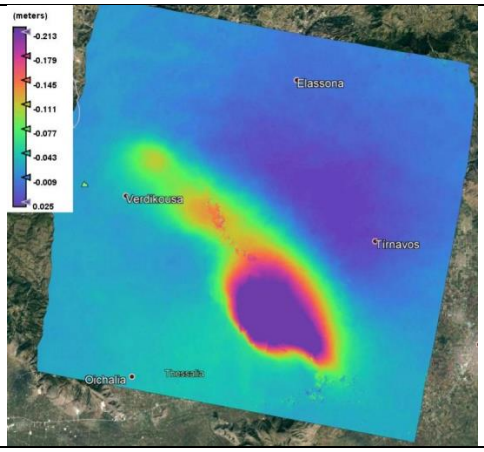
B

80 орбита 02-14 Март

[5] За този район за периода 02-21 март 2021г. са регистрирани повече от 100 труса с магнитуд над 3.



A

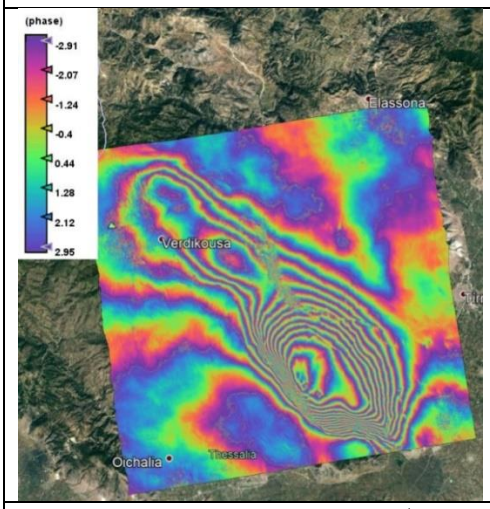


B

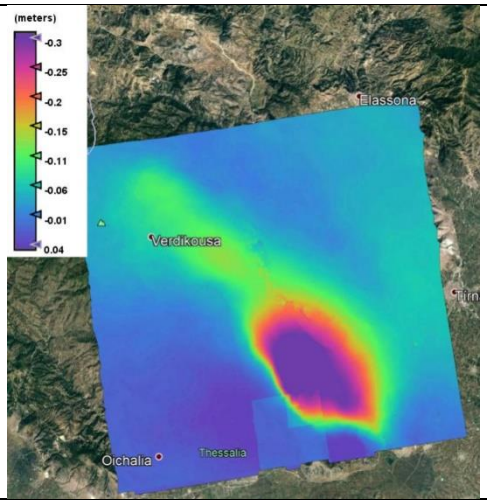
Възходящи орбити при които LoS е в посока З-И



175 орбита 02-14 Март

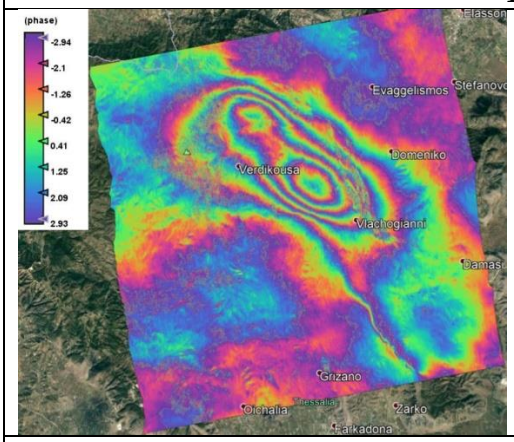


A

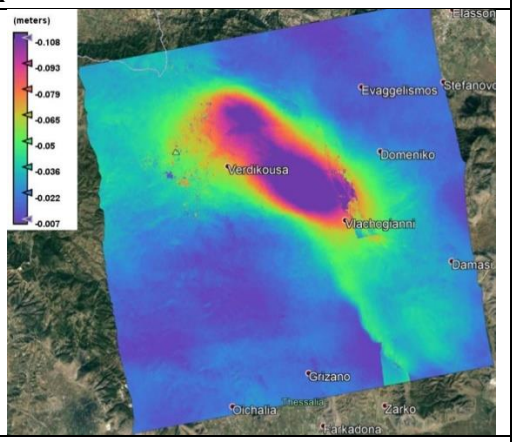


B

102 орбита 03-15 Март



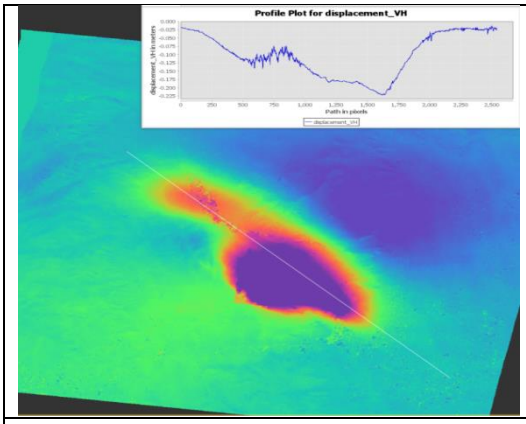
A



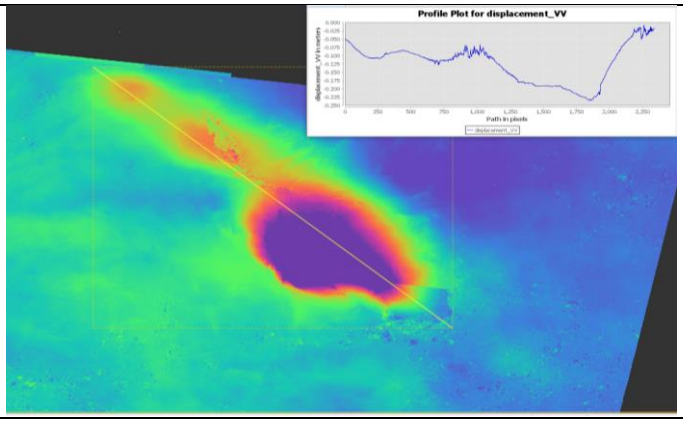
B

Фигура 6. Получени ИФИ и карти на деформацията след разгъване на съответната интерферограма от двата типа орбити за различни времеви интервали

На **Error! Reference source not found.** и са показани фрагменти от ИФИ (А) и ИФИ след разгъване на фазата (В, които представят настъпилите деформации на земната повърхност вследствие на събитието, а най-високите стойности за тях ~30cm са получени от 175 орбита за периода 02-14 Март. Разликите в стойностите от различните орбити потвърждават необходимостта при изучаване на деформации получени след земетресения, да се изготвят ИФИ и от двата типа орбити с цел получаване на по-добра представа за тях и последващото им сравнение с теренни измервани или резултати от други източници. Ясно видимо е от фиг. 6, че дори за конкретна орбитална пътечка се получават различни стойности за всяко едно ИФИ



А)
25Февруари -09 Март



Б)
25Февруари -21 Март

Фигура 7. Карти на деформацията получени от орбита 7 и профили на относителните деформации за интервала време между двете сцени.

На фигури 7 с помощта на надлъжни профилни линии по направление северозапад - югоизток са определени относителните стойности на преместванията по земната повърхност. Тези относителни премествания се свързват с интервала време между двете изображения формиращи интерферограмата.

Заключение

Приложеният в конкретното изследване метод DInSAR е подходящ за измерване на пространствения обхват и степента на настъпилите повърхностни деформации, дължащи се на природни опасности (земетресения, вулкани, свлачища, тектонски движения). От представените резултати след обработка на данни от PCA по този метод, може да се направи заключение, че те са един допълнителен източник на информация за настъпилите деформации на земната кора, дължащи се на земетресения. Като техни предимства следва да бъдат изтъкнати, че се получава информация за преместванията в рамките на големи райони и в сравнително кратък времеви период след събитието. Тази информация подпомага изготвянето на карти за преодоляване на неговите последствия. Приложената от авторите методика за обработка позволи да бъдат получени ИФИ, които нагледно представят настъпилите премествания около епицентъра на това конкретно събитие.

Литература

1. Atanasova M., Nikolov H., Protopopova V.. DInSAR in displacement detection after seismic events. Proceeding 10th Congress of Balkan Geophysical Society, 18-22 September 2019, Albena Resort, Bulgaria, EAGE, 2019, DOI: 10.3997/2214-4609.201902642, 1-4. SJR (Scopus):0.11
2. http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/
3. https://scihub.copernicus.eu/

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N4

Seismic events registered in the glacier Perunika on Livingston Island

Dragomir Dragomirov[1], Gergana Georgieva[1], Lilia Dimitrova[2]

[1] Physics Faculty at Sofia University "St. Kliment Ohridski", Blvd "James Bourchier" 5, 1164 g.k. Lozenets, Sofia, email: dragomirnd@uni-sofia.bg, ggeorgieva@phys.uni-sofia.bg
[2]National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences, "Acad. G. Bonchev" str., bl.3, 1113, Sofia, Bulgaria, e-mail: lidim@geophys.bas.bg

Key words: icequakes, glacier, basal sliding, inner deformations, Livingston

Abstract
Glaciers can be perceived as huge rivers, that flow thank to gravitational forces. In response to driving stresses applied as a result of three independent processes occurring in the glacial flow – inner deformations, basal sliding and soft bed deformations the glaciers move. As a result of this movement, seismic events, called "icequakes", constantly occur in the ice. These events range in frequency, duration and strength. Seasonal variations in the number of detected events are observed. This paper will present data from seismic events registered by the Bulgarian seismic station (LIVV) on Livingston Island in Antarctica and the results from research of the seismic activity from glaciers in the region. The epicenters of events with clear phases are determined.

Сеизмични събития регистрирани в ледник Перуника на остров Ливингстън

Драгомир Драгомиров[1], Гергана Георгиева[1], Лилия Димитрова[2]

[1]Физически факултет на Софийски университет „Св. Климент Охридски", бул. „Джеймс Баучер" 5, 1164 ж.к. Лозенец, София, имейл: dragomirnd@uni-sofia.bg , ggeorgieva@uni-sofia.bg
[2] Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска Академия на науките, ул. Акад. Г. Бончев, бл.3, София 1113, България, e-mail: lidim@geophys.bas.bg

Ключови думи: ледотресения, ледник, базално приплъзване, вътрешни деформации, Ливингстън

Резюме
Ледниците може да се гледат като големи реки, които „текат" благодарение на гравитационните сили. В отговор на движещите напрежения ледниците могат да се преместват като резултат от три независими процеса в ледниковия поток – вътрешни деформации, базално приплъзване и деформации на мека скална основа. Благодарение на тези движения, постоянно възникват събития, наречени ледотресения, които се различават по своята честотна характеристика, продължителност и сила. Установени са сезонни изменения в броя на наблюдаваните сеизмични събития. Ще бъдат представени данни от сеизмична регистрация от българската сеизмична станция (LIVV), на о. Ливингстън в Антарктида и резултати от изследването на сеизмичната активност на ледниците в района. Направена е епицентрия по една станция на някои от събитията с ясни фази.

Въведение

Ледниците може да се разглеждат като големи реки, които текат благодарение на гравитационните сили. В горните части на ледника с времето се натрупва ледена маса, която трябва да се компенсира и това става с изтичане на маса в долната част на ледника (в зона, която се нарича аблационна). В аблационната зона ледът се топи или се отчупва. Скоростта на този балансиращ поток, от зоната на натрупване към зоната на аблация, зависи от количеството натрупана маса и от геометрията на ледника. Това натрупване става много бавно, затова скоростта на потока се променя също много бавно – с десетилетия, а понякога и с векове, макар че има и изключение при умерените ледници. Скоростта и движението на ледника зависят от няколко фактора – геометрията му (дебелина, повърхностен наклон), от физическите му характеристики (температура, плътност, състав), от формата на долината и дали

въобще има долина, от състоянието на земята под ледника (замръзнало или не, твърда скална основа или мек деформируем субстрат, както и от вида на отточните системи), от количеството лед, което плува около ледника и средните скорости на натрупване и аблация (количеството на натрупан на повърхността сняг и стопен в продължение на няколко години) (Clarke, 1987).
Повечето ледници имат сезонни промени в скоростта, като по принцип тя се увеличава по време на летния сезон, когато започва топенето. Това се получава, защото в началото на "топлия" сезон, отточните системи на ледника не са все още развити и водата се натрупва. С това се увеличава напрежението и се предизвиква движение на ледника. Движението на ледника представлява полу-периодична осцилация, като се редуват дълги периоди на бавно преместване с къси периоди на бързо (10-1000 пъти по-бързо от бавното). В случаи на рязък скок в скоростта на ледника, се наблюдава бърз, кратък теч в голяма част от ледника. Тази рязка промяна на скоростта, от бавен теч или състояние на покой към повишена скорост на ледника, е признак за нестабилности в ледниковата система, които могат да бъдат предизвикани от климата, земетресения и др., но само при условие, че е близо до критично състояние.
Големи ледени маси (от няколко стотин метра до няколко километра в дебелина) могат да направят вдлъбнатина в литосферата и дори в астеносферата, която да достигне една трета от дебелината на ледника (Jiskoot, 2011).

Движение на ледниците

Движението на ледника зависи пряко от гравитационната сила, която го дърпа надолу. Скоростта на преместване зависи от приложеното върху него напрежение, от начина по който ледът може да се деформира, а също и дали самият ледник може да се движи спрямо скалната основа. Движението на ледника може да се представи като баланс между сили действащи на ледника – гравитационната сила и силата на съпротивление. Напрежението, предизвикано гравитационната сила зависи от средната дебелина и плътност на леда, както и от повърхностния наклон. При голям наклон ще се наблюдава удебеляване на акумулационната зона и изтъняване на аблационната зона, с което ще се увеличи напрежението предизвикано от гравитационната сила.
Съпротивителното напрежение се дължи на триенето на ледника със скалната основа, а базалното срязващо напрежение е свързано с дебелината на ледника, с наклона на повърхността и формата на долината на ледника и се изразява с формулата (Paterson, 1994):

$$\tau = f\varrho g H sin\alpha \quad (1)$$

Където ρ е плътността на леда (830-917 kg $m^{-3,}$, максимума в този интервал по принцип се взима за стандарт и представлява минимална порестост на ледника в дълбочина), g е гравитационното ускорение, H е дебелината на ледника, а α е градиента на дебелината (dH/dx), което представлява повърхнинния наклон при хоризонтална скална основа и f е безразмерен коефициент, който отразява формата на ледника и долината. Типични стойности за базалното срязващо напрежение са 10 kPa за ледникови потоци (както в Антарктида) и 100 kPa за долинни ледници (Алпийските ледници).
В отговор на движещите напрежения ледниците могат да се преместват посредством три независими процеса - вътрешни деформации, базално приплъзване и деформации на мека скална основа.

1. Вътрешни деформации

Ледът в ледниците е поликристал, който се държи като нелинеен пластичен материал при напреженията, които по принцип се наблюдават в ледниците. Когато върху този лед се упражни голямо напрежение за много кратко време - се образуват пукнатини по повърхността, които са често явление в ледниците. В случая, когато напрежението е по-малко, но продължително се наблюдава пластична деформация на леда. Такова напрежение, което се упражнява върху ледника при нормален ледников поток е 50-200 kPa.
В лабораторни условия Глен (цитат) е изследвал скоростта на деформациите в парче лед, подложено на различни напрежения и температури и емпирично извел закон на Глен, който свързва скоростта на промяна на сразваща сила на опън (ἐ) и приложеното напрежение (τ). Законът на поток на Глен изглежда така (Glen, 1955):

$$\dot{\varepsilon} = A\tau^n \quad (2)$$

Където A е "параметър на мекотата" на леда, който зависи от температурата и активационната енергия. Константата n зависи от приложеното напрежение.
Като се интегрира срязващата сила на опън по дебелината на ледника може да се направи профил на деформационната скорост.

2. Базално приплъзване

Когато ледниците не са замръзнали за скалната основа може да се наблюдава друг вид движение – приплъзване. Това приплъзване може да се наблюдава и без наличието на повърхностни пукнатини. Когато ледът тече и по неговия път има много издатини от скалната основа, то се наблюдава локално увеличение на напрежението. Това увеличено напрежение довежда до намаляване на температурата на топене на леда около препятствието и част от леда започва да се топи, при което ще се наблюдава приплъзване. Този процес се регулира от гладкостта на скалната основа (Weertman, 1957).
Съответно приплъзването може да се получи и при наличието на повърхностни пукнатини. Основно когато теренът под ледника е пълен с "препятствия" и тези препятствия са с достатъчно голям наклон, за да създадат достатъчно голяма разлика в скоростта на течението на горната част на ледника в сравнение с долната част, то се получават напуквания на повърхността на ледника (Lliboutry, 1968).

3. Деформации на мека скална основа

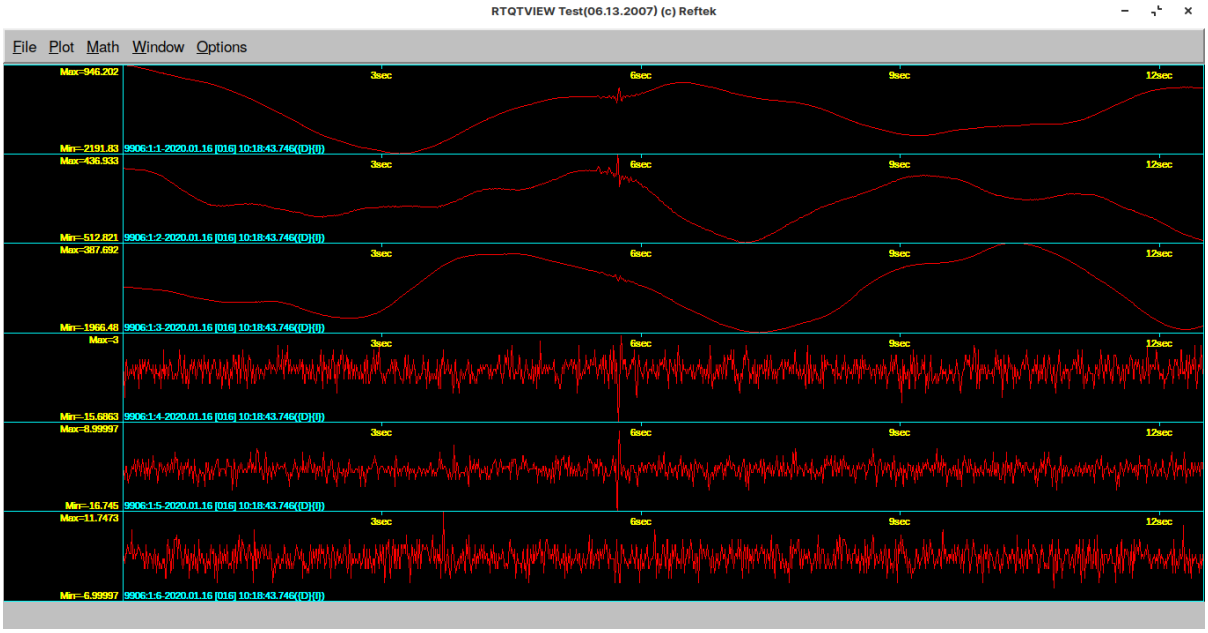
Ледниковата възглавница (скалната основа под ледника) представлява смес от седиментни скали, чиито размер варират от глина до големи скални късове. При съставените от глина и пясък подледникови възглавници има слабо триене между частиците и те лесно ще се деформират при приложено срязващо напрежение, ако голяма част от порите им се запълнят с вода. За деформация от този вид е нужно над седиментите да стои ледник с голяма маса. Ако е достатъчно масивен ледника той може да "пропадне" с една-трета от дебелината си. Това явление не зависи само от силата упражнена от натрупания с годините лед, но и от порестостта на възглавницата, количеството вода, която се съдържа в тях и налягането, упражнявано от водата върху стените на порите (Alley et al., 1986).

Видове сеизмични събития регистрирани в ледниците

Движението на ледниците генерира различни видове събития, които се различават по своята честотна характеристика, продължителност и сила. Събитията, които ще разгледаме са ледотресения, предизвикани от повърхностни пукнатини; муленни тремори; stick-slip ледотресения. Представени са данни от българската сеизмична станция (LIVV) на о. Ливингстън в Антарктида. Само в последния сезон, за периода 09.01 – 27.01.2020г. са регистрира почти 5500 събития, които варират по честота и сила. Използван е софтуера rtqt_view (който се използва в дневната обработка на сеизмични данни от Националната Оперативна Телеметрична Система за Сеизмологична Информация, НОТССИ) за преглеждане на сеизмичните данни и свободният софтуер Seismic Handler (Seismic Handler (seismic-handler.org)) за създаването на спектрограми и графики за движение на частиците.

Ледотресения предизвикани от повърхностни пукнатини

Пукнатини се образуват, когато напрежението в леда надмине критичната точка на еластичност. Издръжливостта на опън на леда зависи от температурата, плътността и структурата му. Пукнатини често възникват в крайните части на ледника, където латералните напрежения срещу стените на ледника не му позволяват да се движи. Това са най-многобройните събития, които се регистрират. Наблюдават се дневни и сезонни вариации при регистрирането им. През лятото, когато температурата е най-висока, броят им нараства в сравнение с другите сезони. Същата корелация се наблюдава и през деня, когато ледът е огрян от слънцето, броят им е по-голям в сравнение с през нощта. Този вид събития са с продължителност от 0-3 секунди и са често с малка амплитуда, но отчетливо първо встъпление (Davies, 2020, от интернет).



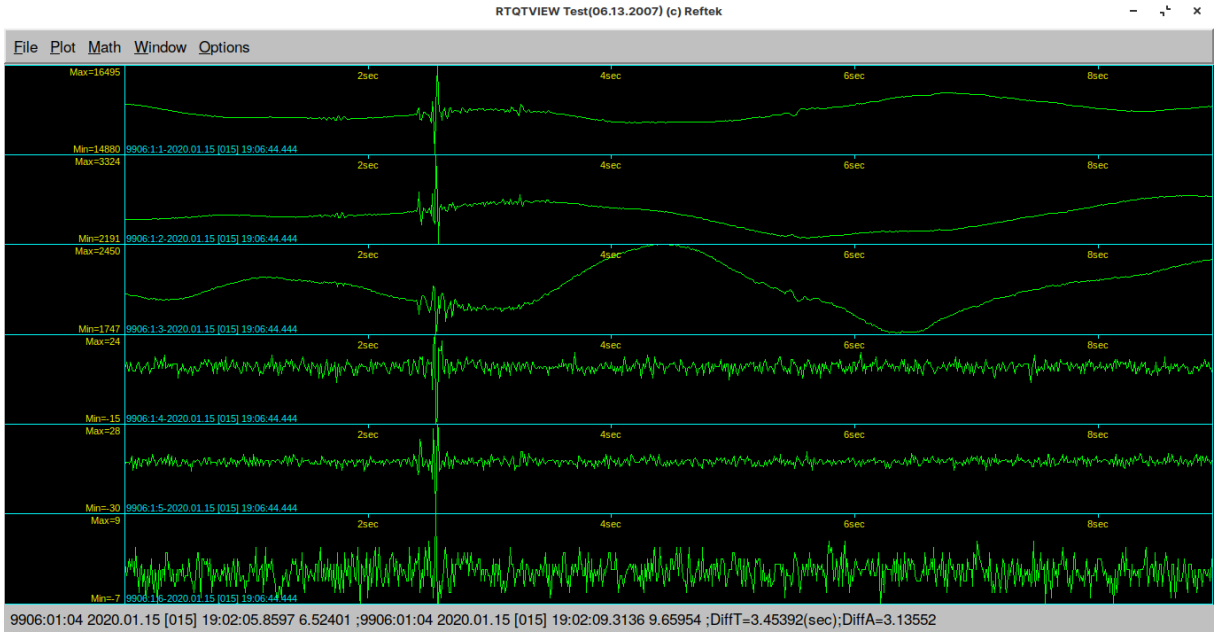
Фигура 1. Сеизмограма на ледотресение предизвикано от пукнатина.

Муленни тремори

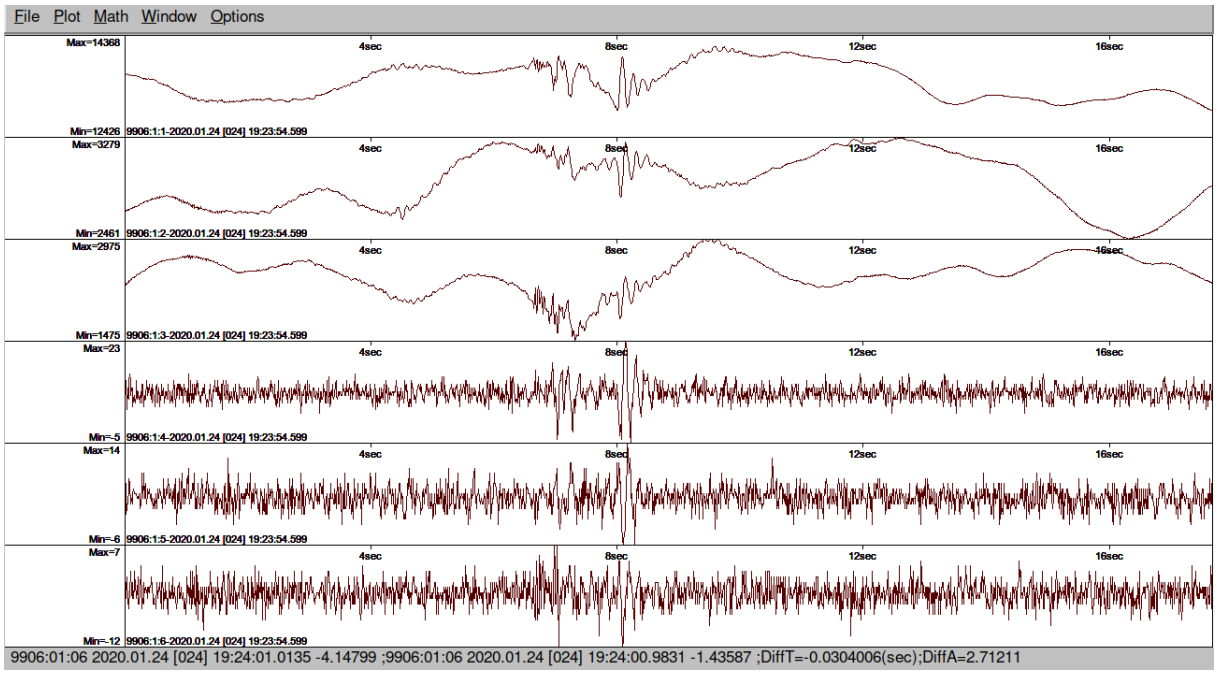
Мулените са вдлъбнатини, от които започват канали, проправени от водата, стигащи чак до основата на ледника. Тези канали се отварят в различни точки и там където това става променят налягането на подледниковата вода. Предполага се, че мулените се образуват от постепенно увеличаване на пукнатини, пълни с вода или от повърхностни езера. Мулените се образуват в точно определени места, в зависимост от топографията на скалната основа и могат да бъдат активни в продължение на няколко години. Муленът, който се състои само от една вдлъбнатина и от него тръгва канал, е най-простия тип. Предполага се, че мулените представляват серия от редуващи се каверна с канали, проправящи си път до ледниковото легло.
Събитията, които се генерират, са причинени от изтичането в мулените на големи количества стопена вода. Честотата на появата на тези събития, тяхната продължителност и честотна характеристика изглежда да зависят от количеството на водата в самия мулен. Характерно е, че P и S вълните започват много плавно, няма рязко встъпление, както при земетресенията. Треморите в ледниците приличат повече на треморите създадени при вулканите, разликата е, че при тях има движение на магма, а не на вода (Röösli, 2016).

Stick-slip ледотресения

Водата под ледника може да има сериозен ефект върху самия него и динамиката му. В зависимост от капацитета на подледниковите системи за оттичане на вода, тя може да се задържа или много бързо да се оттича и по този начин да се стигне до повишаване или намаляване на напрежението. Затова базалното приплъзване е или подтикнато, или подтиснато. Под аблационната зона на умерените ледници (ледници, които са на границата на топене и водата съществува заедно с леда. При тях малки промени в температурата могат да доведат до сериозно промени в маса, обем и др.) подледниковите отточни системи обикновено се характеризират с промяната на сезоните. През зимата съществува неефикасна подледникова система за оттичане с голямо напрежение. През лятото разтопилата се вода от повърхността стига до ледниковото легло през пукнатини. В ледниковото легло тази вода тече по посока на хидравличния градиент (посоката в която налягането на водата намалява и хидравличния градиент измерва промяната в нивото й за единица разстояние) и част от енергията се превръща в топлина. Затова тези канали, които са от лед бързо се разширяват и оттичането става по-ефикасно и съответно налягането на водата спада. Тези канали се препълват само в по-топли дни през лятото и напълването им и увеличаването на водното налягането може да доведат до stick-slip движения на ледника (Walter, 2020).



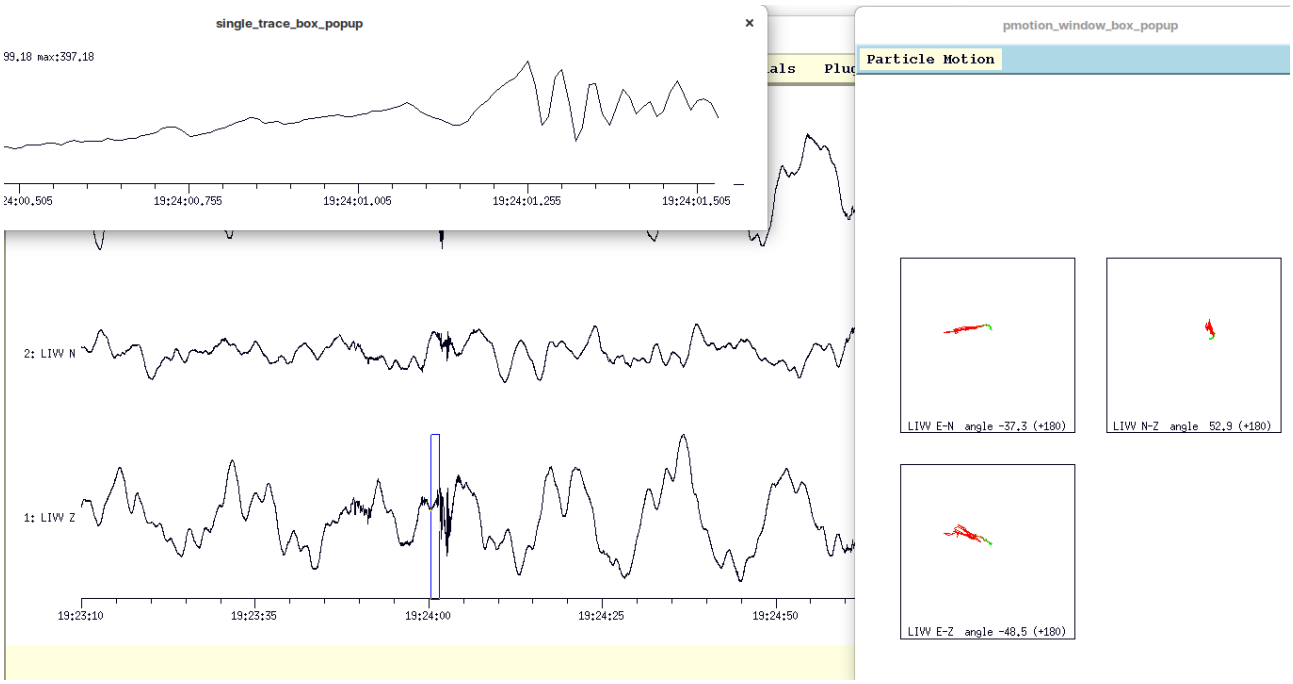
Фигура 2. Сеизмограма на stick-slip ледотресение (1).



Фигура 3. Сеизмограма на stick-slip ледотресение (2).

На двете сеизмограми се виждат две stick-slip събития. И двете встъпления P и S са отчетливи и може дори да се определи знака (компресия или декомпресия) на първото встъпление. Пакета на P вълната има по-голяма честота от този на S, който започва с голяма амплитуда и след това бързо затихва. Малко преди встъплението на директната S вълна може да се види, че пристига друга вълна – това е може би отразилата се под критичен ъгъл S вълна.

Събития като тези, с ясни встъпления, могат да бъдат локализирани по една станция по метода на Голицин (цитат), като се използва трикомпонентен сеизмичен запис. За локализацията се определя разликата Ts-Tp, за да се изчисли отдалечеността на събитието от сеизмичната станция, както и знаците и амплитудите на първите встъпления (компресия, декомпресия) на P вълната. Последното се прави, за да се пресметне ъгъла на обратния азимут. Определянето на обратния азимут може да се направи и от диаграмите на движението на частиците на P вълната, използвайки софтуера Seismic Handler.



Фигура 4. Stick-slip събитие. Вляво е сеизмограмата на събитието, а вдясно е графиката на движението на частиците по трите оси.

Заключение

Изследването показва, че има няколко различни вида събития, които се случват в ледниците. Тези събития варират по честота, продължителност и сила. Наблюдава се сезонна зависимост на броя на регистрираните събития, както и дневна. Краткотрайните (0-3 секунди) ледотресения са най-многобройните и силно зависят от времето на деня и сезона. Треморите са събития, които продължават от няколко секунди до няколко минути. Имат неясни встъпления, което правят трудно определянето на отдалечеността им от станцията. Stick-slip събитията имат ясни встъпления, като P пакета има по-висока честота от S, който затихва много бързо. Направената локализация по една станция, на събития с отчетливи встъпления, при която се използва знака и амплитудата на първите встъпления, може да се потвърди с тази направена по графиките за движение на частиците, направени със софтуера Seismic Handler.

Благодарности

Резултатите от настоящето изследване са получени по проект **№ 70-25-171 от 22.11. 2019г. ,** финансиран от Националния център за полярни изследвания.

Литература

Alley, R. B., Blankenship, D. D., Bentley, C. R., and Rooney, S. T., 1986. Deformation of till beneath ice stream B, West Antarctica. Nature, 322(6074), 57–59.

Clarke, G. K. C., 1987. Fast glacier flow: ice streams, surging, and tidewater glaciers. Journal of Geophysical Research, 92(B9), 8835–8841

Glen, J. W., 1955. The creep of polycrystalline ice. Proceeding of the Royal Society of London. Series A, 228, 519–538.

Jiskoot, Hester. (2011). Dynamics of Glaciers. 10.1007/978-90-481-2642-2_127.

Lliboutry, L., 1968. General theory of subglacial cavitation and sliding of temperate glaciers. Journal of Glaciology, 7(49), 21–58.

Paterson, W. S. B., 1994. The Physics of Glaciers, 3rd edn. Oxford: Pergamon, 480 pp

Röösli, Claudia & Walter, F. & Ampuero, Jean Paul & Kissling, Edi. (2016). Seismic Moulin Tremor. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 121. 10.1002/2015JB012786.

Walter, F. & Gräff, D. & Lindner, F. & Paitz, Patrick & Köpfli, M. & Chmiel, Małgorzata & Fichtner, Andreas. (2020). Distributed acoustic sensing of microseismic sources and wave propagation in glaciated terrain. Nature Communications. 11. 10.1038/s41467-020-15824-6.

Weertman, J., 1957. On the sliding of glaciers. Journal of Glaciology, 3(21), 33–38

Structural glaciology - AntarcticGlaciers.org (02.06.2021)

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N5

Statistical methods for the analysis of climate variability

Tsvetelina Velichkova[1], *Natalya Kilifarska*[2]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, 3 "Acad. G.Bonchev", Sofia 1113, Bulgaria, tsvelichkova@geophys.bas.bg.
[2] Climate, Atmosphere and Water Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 66, Blvd Tzarigradsko Chaussee, Sofia 1784, Bulgaria, natalya_kilifarska@yahoo.co.uk.

Key words: statistical methods, climate variability, geomagnetic field, surface temperature

Abstract
Climate variability is analyzed by applying linear and nonlinear statistical methods. Their use aims to compare and demonstrate the advantages and disadvantages of each technique in the analysis of climate series. The use of correlation analysis with a time lag confirmed the generally accepted view that carbon dioxide (CO_2) is the main initiator of global warming. The multiple linear regression showed that the selection of factor variables must be done very carefully, taking into account the potential dependences between them. Using nonlinear regression, it was found that the variations of the Earth's magnetic field is an alternative to CO_2 as an engine of modern global warming.

Статистически методи за анализ на измененията в климата

Цветелина Величкова[1], *Наталия Килифарска*[2]

[1] Национален институт по геофизика, геодезия и география, Българска академия на науките, ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 3 София 1113, България, tsvelichkova@geophys.bas.bg.
[2] Институт за изследвания на климата, атмосферата и водите, Българска академия на науките, бул. "Цариградско шосе" 66, 1784 София, България, natalya_kilifarska@yahoo.co.uk.

Ключови думи: статистически методи, климатични изменения, геомагнитно поле, приземна температура

Резюме
Измененията в климата са анализирани чрез прилагането на линейни и нелинейни статистически методи, като тяхното използване има за цел да сравни и да демонстрира предимствата и слабостите на всеки един от тях при анализа на климатичните редове. Използването на корелационен анализ с отместване във времето потвърди общоприетото схващане, че въглеродният диоксид (CO_2) е основният инициатор на глобалното затопляне. Линейният многофакторен регресионен метод показа, че подбирането на факторните променливи трябва да става много внимателно, с отчитането на потенциалните зависимости между тях. С помощта на нелинейната регресия бе установено, че изменчивостта на магнитното поле на Земята е една алтернатива на CO_2 като двигател на съвременното затопляне на климата.

Увод

Климатът е комплексна система с много променливи. Някои се изменят линейно с времето, а други нелинейно в широк диапазон на пространствено-времеви скали. Поради тази причина, интерпретацията на климатични данни е голяма предизвикателство и се извършва с помощта на различни статистически методи.
За анализирането на климатичните редове най-често се използват линейни статистически методи, тъй като те са сравнително прости и лесни за прилагане. Съществуват определени изисквания, които трябва да бъдат спазени, за да бъдат коректно прилагани: 1) средната стойност и стандартното отклонение на времевите редове да не се изменят във времето; 2) връзките между въздействащите фактори и климатичния отговор са *линейни* и *стационарни* във времето.
Много изследвания показват, че динамиката на климата е нелинейна (Yiou et al., 1994; King, 1996; Miksovsky and Raidl, 2006; Wu et al., 2007; Halko and Tsilika, 2014). Нелинейността на климатичните редове и тяхната нестационарност често се свързва със случайния характер и респективно с непредсказуемостта на климата (IPCC, 2007). Тази гледна точка погрешно предполага, че

нелинейната изменчивост на климата не може да бъде разграничена от неговите случайни колебания. Ключов момент в прилагането на нелинейни методи за оценка на въздействието на факторите влияещи върху климата е правилното определяне на тяхната роля в глобалната променливост на климата. Също така, това зависи както от познаването на еволюцията им във времето, така и от функционалната зависимост между въздействащите фактори и климатичните изменения.

Данни и методи

Проведените изследвания в настоящия труд се основават на месечни данни за относителното съдържание на O_3 на 70 hPa, приземната температура на 2 m над земната повърхност, взети от реанализа ERA 20 century, за периода 1900-2010 г. За анализа на въглеродния диоксид взехме неговите средно годишни стойности от обсерваторията Мауна Лоа в Хавай, както и исторически записи, получени от ледени ядки. Използвахме годишни стойности за галактичните космични лъчи, които взехме от (Usoskin et al., 2008) и редът от стойности беше продължен въз основа на калибрирани стойности от Московския неутронен монитор. Годишните данни за геомагнитното поле взехме от International Geomagnetic Reference Field model. В изследването използвахме още годишни стойности за броя на слънчевите петна, които взехме от WDC-SILCO, Кралската обсерватория на Белгия в Брюксел.

Като представител на линейната техника използвахме *крос-корелационният анализ* с отместване назад във времето на независимата променлива, тъй като някой от изследваните климатични параметри реагират със закъснение на приложеното въздействие. Корелационните коефициенти се изчисляват като отношението между крос-ковариацията и стандартните отклонения на двата реда от данни. Статистическата представителност на корелационните коефициенти се определя с помощта на двустранния t-тест на Student.

Също така, избрахме да използваме линейна многофакторна регресия, тъй като е един от най-често прилаганите статистически методи. Основната цел на множествената регресия е да се състави модел, с който да се анализира влиянието на две или повече независими променливи върху една зависима променлива. Този метод позволява да се оцени както индивидуалното, така и общото влияние на тези фактори. Независимите променливи, включени в модела, трябва да са количествено измерими, както и да не корелират помежду си, т.е. да не са обвързани помежду си с функционална зависимост. Адекватността на многофакторния регресионен модел се оценява посредством регресионния коефициент R, а също така и чрез F-критерия на Фишер.

За да илюстрираме нелинейната техника, приложихме нелинейна регресия. В отличие от корелационния анализ, целта на който е да определи подобието в изменчивостта на зависимата и независимите променливи, регресионният проблем има за цел да построи модел на предполагаемата зависимост между тях. Многофакторният и нелинейният регресионни коефициенти се изчисляват като отношението на описаната към неописаната от модела вариабилност на променливата Y, т.е. като квадратен корен от разликата между пълната вариабилност на зависимата променлива Y и погрешността на регресионния модел, нормирана на пълната вариабилност:

$$\boldsymbol{R} = \sqrt{\left(\frac{\sum\left(\boldsymbol{Y_i} - \overline{\boldsymbol{Y}}\right)^2 - \sum\left(\boldsymbol{Y_i} - \widehat{\boldsymbol{Y_i}}\right)^2}{\sum\left(\boldsymbol{Y_i} - \overline{\boldsymbol{Y}}\right)^2}\right)} \quad (\mathbf{1})$$

Първият член в числителя на формула (1), както и знаменателят, означават пълната изменчивост на зависимата променлива Y, а вторият член в числителя – моделната грешка. Поради тази причина, регресионният коефициент винаги е положително число. Този критерий дава оценка на адекватността на модела дори и в случаите, когато зависимата променлива не е „нормално“ разпределена.

Прието е, че квадратът на регресионния коефициент R^2, умножен на 100, отразява процента на изменчивост на моделираната променлива, който регресионният модел е в състояние да опише.

Изброените техники са предоставяни от професионалния статистически пакет STATISTICA 8, който предлага множество цифрови и графични критерии за определяне адекватността на статистическия модел.

Резултати получени с линейни статистически методи

За независими параметри избрахме двукратно изгладените по пет точки зимни стойности на озона (O_3) на 70 hPa, годишно усреднените стойности на въглеродния диоксид (CO_2), годишно и пространствено усреднените стойности на земно магнитно поле (F), изгладения ред с плъзгащ се 11- и 22-годишен прозорец на годишното средно на броят слънчеви петна (S_s), изгладения ред с 11- и 22-годишно плъзгащо се осредняване на средно-годишните стойности на галактичните космични лъчи (GCR). Приземната температура на въздуха (T_2m), измерена на 2 м. над земната повърхност през зимата (декември-март) е зависимата променлива. Изчислените корелационни коефициенти, заедно с времезакъснението в реакцията на приземната температура, са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Линейни крос-корелационни коефициенти (r) на зимната глобална (пространствено усреднена) приземна температура (T_2m) с различни въздействащи фактори. Изчислените коефициенти са статистически значими при ниво на достоверност 2σ. На втория ред е показано времевото закъснение на отклика на температурата в години.

	2 * 5год. изгл. зим. O_3	Ср.год CO_2	Ср.год. F	11-год. изгл. S_S	22-год. изгл. S_S	11-год. изгл. GCR	22-год. изгл. GCR
Зим. T_2m	-0.57	**0.85**	**-0.72**	0.59	0.57	-0.48	-0.51
Време закъснение	00	**- 0**	**-1**	2-48	2-48	1-20	-1

Ако разгледаме таблицата, ще забележим, че корелацията между CO_2 и T_2m е най-силна r=0.85. Този резултат подкрепя общоприетото твърдение, че емисиите на CO_2 са основният двигател за наблюдаваното затопляне на климата (Cox et al., 2000; IPCC, 2007). Корелацията на приземната температура с изгладените слънчеви петна S_{s11}=0.59 и S_{s22}=0.57 е значително силна, но времезакъснението в реакцията на температурата е много голямо и трудно за обяснение. Зависимостта с измененията на GCR, надхвърлящи 22 години, е силна r=-0.51 и с отместване във времето от една година. Това предполага съществуването на механизъм, чрез който GCR могат да влияят върху приземната температура (Kilifarska, 2012). Корелационният метод дава доста добра свързаност между O_3 и T_2m r=-.057. Трябва да отбележим силната свързаност между геомагнитното поле F и приземната температура r= -0.72 с времезакъснение от 1 година. Този резултат предполага съществено влияние на измененията на геомагнитното поле върху климата на Земята.

Широка практика в научните изследвания е създаването на многофакторни регресионни модели, в които приноса на всеки от потенциалните фактори влияещи върху изменчивостта на анализираната променлива се определя вътрешно в модела като парциален регресионен коефициент. Частичните корелационни коефициенти, обаче, нямат самостоятелно значение. Най-често те се използват в етапа на формулирането на модела за изключването на факторите с несъществено влияние върху зависимата променлива.

Като илюстрация на възможностите на многофакторния регресионен анализ уточнихме регресионните коефициенти на уравнението:

$$T_{2m} = a_0 + a_1.smtO_3 + a_2.CO_2 + a_3.F + a_4.GCR_{22} \quad (2)$$

отчитащо съвместното влияние на четири фактора върху променливата T_2m. Със $smtO_3$ сме означили двукратно изгладените по пет точки зимни стойности на озона; CO_2 е редът с годишните стойности на въглероден диоксид; F е интензитетът на геомагнитното поле, а GCR_{22} – годишните стойности на галактическите космични лъчи, изглатени с 22-точков прозорец. Статистически значимият коефициент на многофакторната регресия има стойност R=0.86, а справката с коефициента на детерминираност (R^2) показва, че моделът е в състояние да обясни 76% от пълната изменчивост на приземната температура в изследвания период 1900-2010 г. Всички корелационни параметри са

статистически значими и според F- критерия на Фишер регресионният модел се отличава значимо от регресионния модел с нулеви параметри.
Сравнението на многофакторния регресионен коефициент с крос-корелационния коефициент на температурата T_2m с CO_2, както и с техния нелинеен регресионен коефициент (представен по-долу), показва незначително „подобрение“ на регресионния модел след включването на 3 допълнителни факторни променливи. Този резултат е силно озадачаващ и навежда на мисълта за съществуваща зависимост между факторните променливи. Действително, анализът на регресионните коефициенти между факторните променливи, както и коефициента им на толеранс (представени в Таблица 2) показва изключително силна зависимост между тях. Освен това, анализът на парциалните и полу-парциалните регресионни коефициенти показва, че те „обясняват“ много малък процент от изменчивостта както на приземната температура, така и на дисперсията на моделните грешки.

Таблица 2. Оценки на свързаността между факторните променливи участващи в многофакторния регресионен модел.

Redundancy of Independent Variables; Dependent Variable: wint.T_2m R-square column contains R-square of respective variable with all other independent variables				
	Toleran.	**R-square**	**Partial - Cor.**	**Semipart - Cor.**
smt. wintO3	0.161794	0.838206	0.310678	0.165753
ann.CO_2	0.034215	0.965785	0.516309	0.305733
ann F	0.015503	0.984497	0.200262	0.103657
22yr avr of GCR	0.059939	0.940061	-0.214122	-0.111164

Този експеримент показва, че подбирането на факторните променливи в регресионното уравнение трябва да става много внимателно, с отчитането на потенциалните зависимости между тях. Ако такава предварителна информация не съществува, то използването на разнообразни методи за определянето на адекватността на регресионния модел е абсолютно наложителна.
В следващия параграф ще направим оценка за ролята на различните въздействащи фактори в изменчивостта на климата, прилагайки нелинейна регресия.

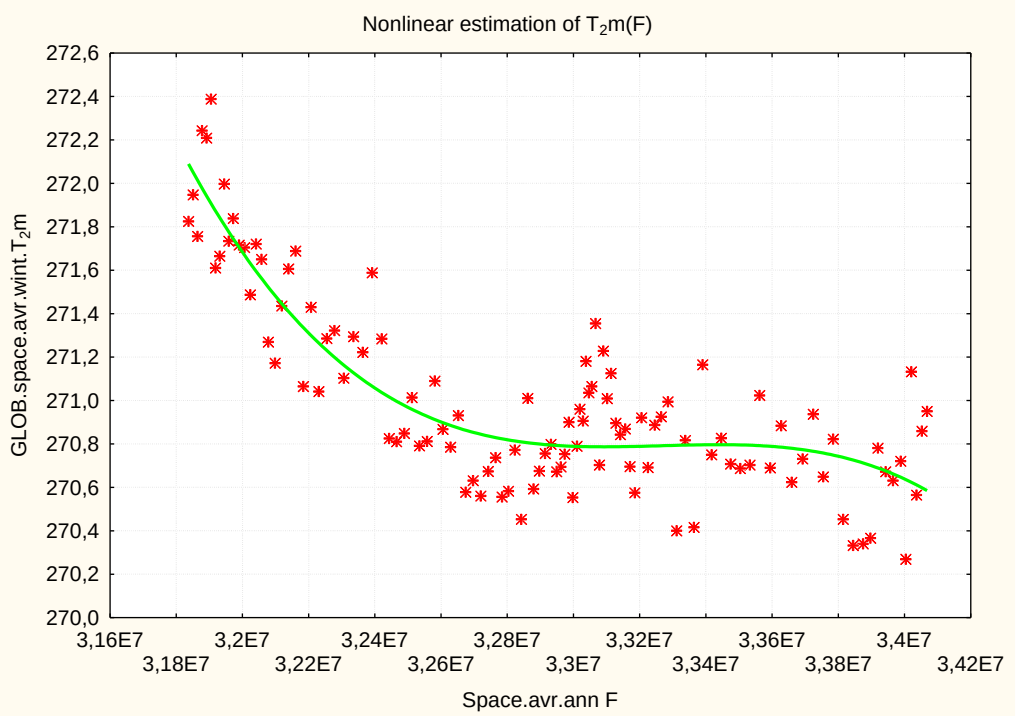
Резултати получени с нелинейни статистически методи

Пример за добър статистически модел, е моделът, чиито грешки (т.е. разликите между измерените и моделираните стойности на зависимата променлива, наричани още остатъци) са нормално разпределени и не корелират помежду си. Графичният анализ на наблюдаваните и моделните стойности, както и анализът на грешките, са много добър начин за откриване на отклонения от тези изисквания и респективно за точността на модела.
Така например, графиката на зависимостта между наблюдаваните и моделните стойности, в която всички точки трябва да са групирани около регресионната линия ни дава графична илюстрация за точността на модела. Големите флуктуации на наблюдаваните около моделните стойности, както всички нелинейни изкривявания, като например разпределението във формата на латинската буква ‘S’, е индикация за лошото качество на модела.
Графиката на съотношението между моделните и нормално разпределените грешки ни дава информация на „нормалността“ на разпределението на грешките. Така точките върху тази графика трябва да са близко разположени около регресионната линия. Друг критерий за доброто качество на модела е случайното разпределение на точките около нулевата линия (без наличието на структурни нееднородности) в графиката на зависимостта между моделните стойности и грешките (т.е. разликата между наблюдаваните и моделните стойности).

Използвахме нелинейната техника *non-linear estimation*, за да анализираме отново въздействието на гореспоменатите климатични фактори върху приземната температура (T_2m).
Високата корелация между магнитното поле на Земята и глобалната температура (виж Таблица 1) основателно възбужда интереса към възможността за „прогнозиране“ на изменчивостта на температурата въз основа на познанията ни за вариациите на магнитното поле. Приложихме кубична функция, за симулация на свързаността между двете променливи:

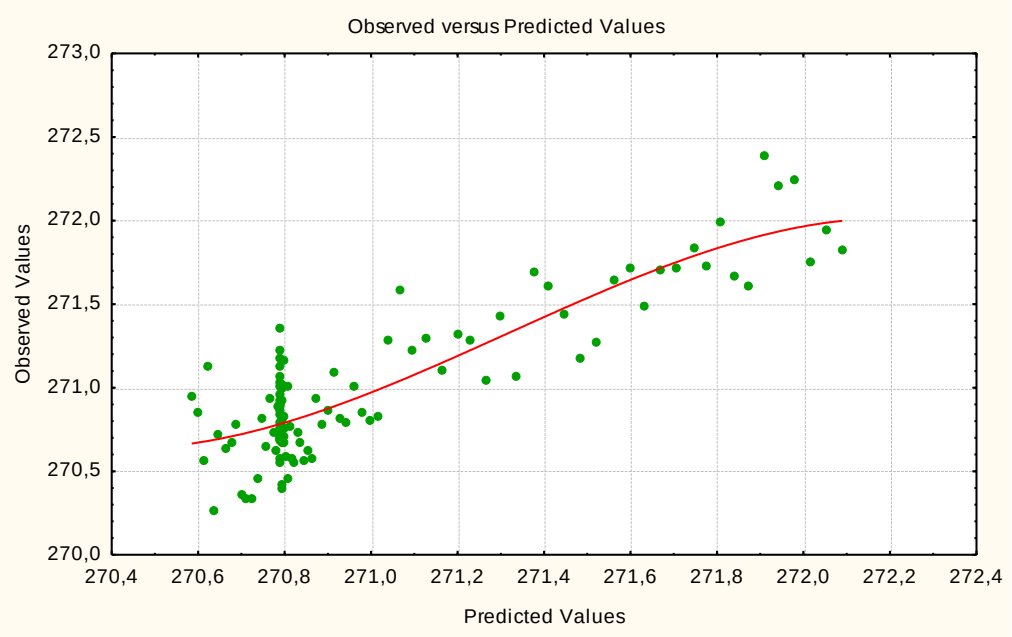
(3) $$T_2m = a_0 + a_1 * F + a_2 * (F)^2 + a_3 * (F)^3$$

където с F сме означили пространствено усреднения интензитет на геомагнитното поле, а коефициентите a_i се уточняват посредством регресионната процедура. Това доведе до съществено повишение на коефициента на регресия R= 0,87, в сравнение с линейния корелационен коефициент (r=-0,72, виж Таблица 1).
В допълнение към изложените критерии за достоверност (на които трябва да се подчинява всеки задоволителен статистически модел), сравнението на най-доброто (с минимизиране на грешката) графично изображение на данните (червените снежинки) с графиката на адаптираната функционална зависимост (зелената линия) бе използвано като допълнителна диагностика за точността на нашия модел (Фиг. 1).



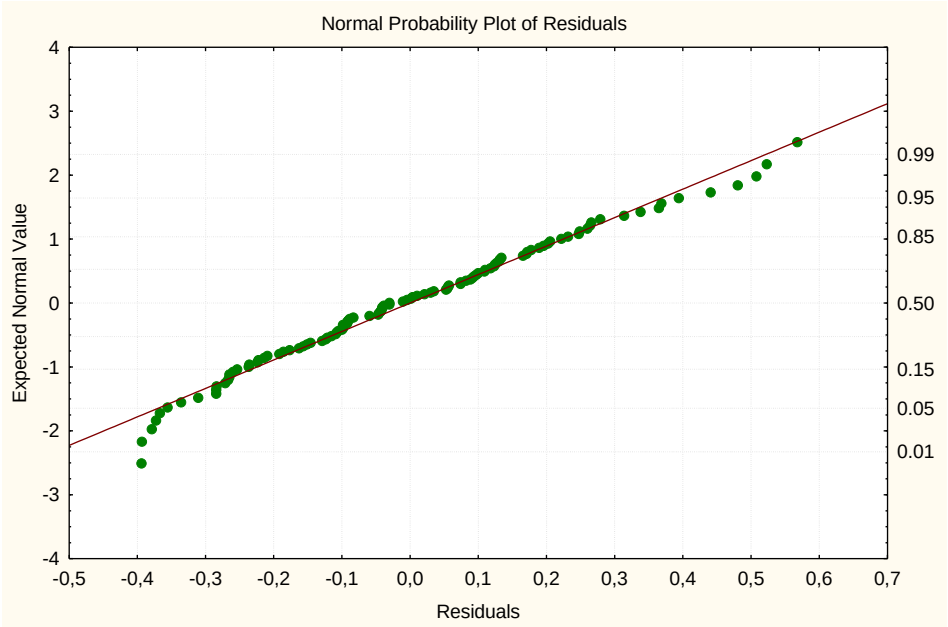
Фиг. 1 Графика на зависимостта между интензитета на геомагнитното поле (F) и приземната температура (пространствено усреднени) за периода 1900-2010г.

От фигурата се забелязва, че усилването на F, води до понижаване на T_2m. Това е резултат, който съответства на заключенията направени от редица автори (Valet & Meynadier 1993; Worm 1997; Knudsen & Riisager 2009; Kitaba et al. 2013).
Доброто съответствие между прогнозните и наблюдаваните стойности показва възможността на кубичната функция да моделира ковариацията на геомагнитното поле и приземната температура (Фиг. 2).

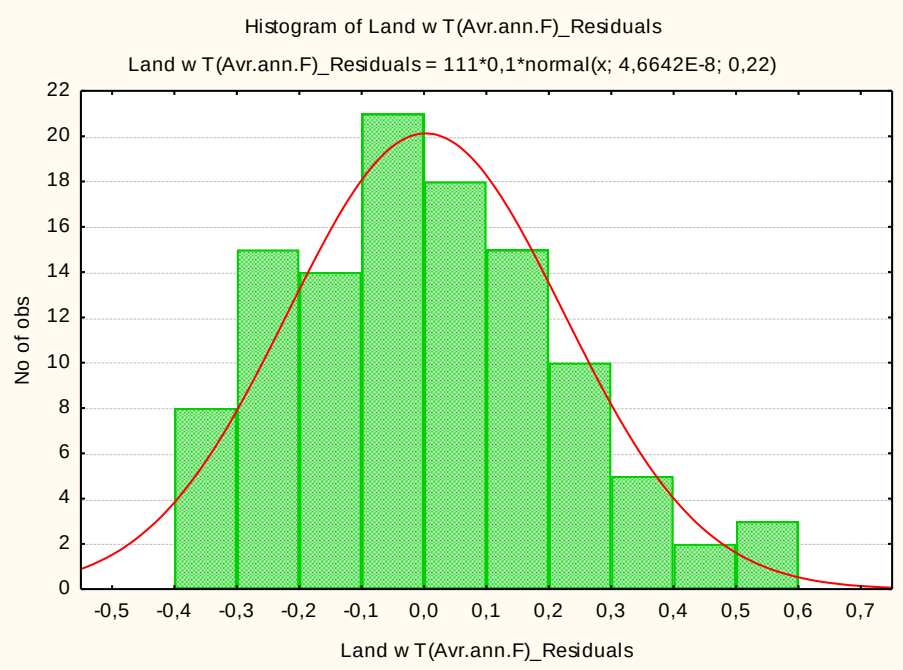


Фиг. 2 Диаграма на разсейване между прогнозните спрямо наблюдаваните стойности.

Други две доказателства за високата точност на модела дават графиките на разпределението на остатъците (Фиг. 3) и тяхната хистограма (Фиг. 4), които потвърждават, че грешките между моделните и измерените стойности са нормално разпределени.

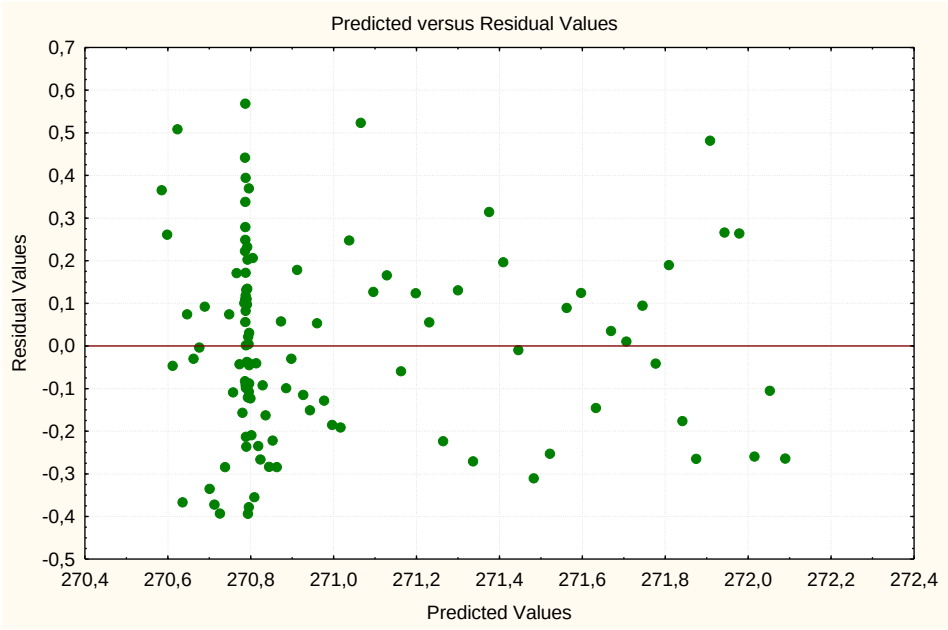


Фиг. 3 Нормално разпределение на разликите между реалните и моделните стойности на T2m.

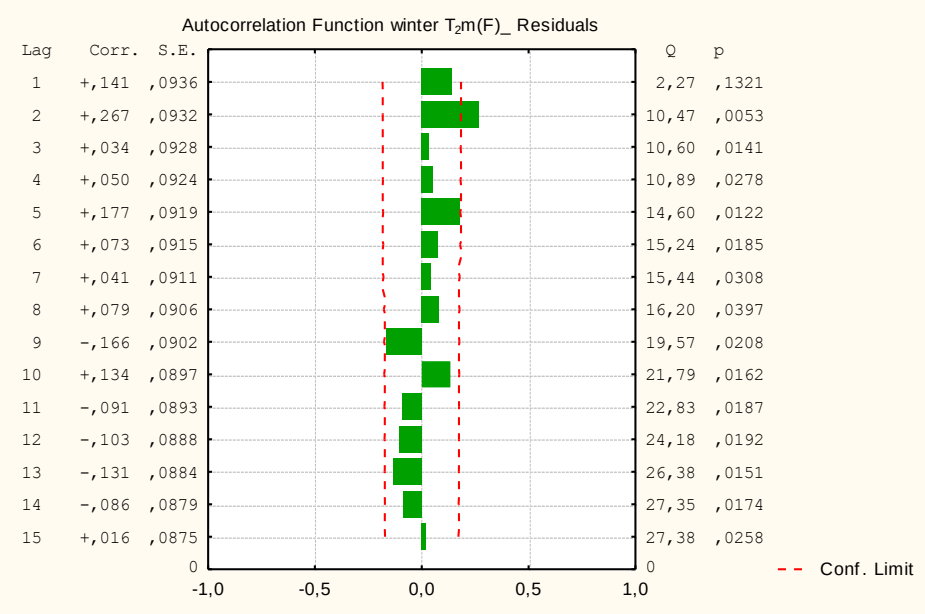


Фиг. 4 Хистограма на разпределението на остатъците.

В добавка, грешките от интерполирането на ковариацията между температурата и геомагнитното поле посредством функционалната зависимост (3) са случайно разпределени спрямо нулевата линия, което е един от споменатите критерии за един качествен статистически модел (Фиг. 5).
На Фиг. 6 сме показали и друга диагностика за качеството на модела $T_2m=f(F)$, а именно автокорелацията на остатъците. Тя показва, че грешките, допуснати при моделирането на функционалната зависимост между геомагнитното поле и температурата, не са свързани помежду си , т.е. са случайно разпределени. Това гарантира, че зависимостта на T_2m от F се описва добре от избрания модел с кубична функция.



Фиг. 5 Диаграма на разсейване на прогнозните стойности спрямо остатъците.



Фиг. 6 Автокорелация на остатъците на T2m=f(F).

Обобщение на получените нелинейни регресионни коефициенти, е представено в Таблица 3. В най-долния ред на таблицата е представено процентното съотношение на изменчивостта на приземната температура описвано от различните нелинейни модели. Сравнението на приноса на разглежданите фактори в изменчивостта на приземната температура показва, че вариациите с времето на пространствено усредненото геомагнитно поле е равностойна алтернатива на увеличението на антропогенните газове в следствие от развитието на човешката цивилизация – поне за разглеждания период 1900-2010 г. Другите два фактора с потенциално голям принос в съвременното затопляне на климата са дългопериодичните стойности на галактическите космически лъчи и озона на 70hPa.

Таблица 3. Нелинейни регресионни коефициенти (R) на зимната глобална (пространствено усреднена) приземна температура (T2m) с различни въздействащи фактори.

	O_3 + 2 * 5год. изгл. зим. O_3	**Ср.год CO_2**	**Ср.год. F**	**11-год. + 22-год. изгл. S_S**	**11-год. + 22-год. изгл. GCR**
R	0.66	**0.87**	**0.87**	0.34	0.64
R^2	44%	**76%**	**76%**	12%	41%

Заключение

Целта на днешния доклад бе да обърне внимание на преимуществата и недостатъците на линейните и нелинейни статистически методи при анализа на климатичните промени.
Корелационният анализ с отместване назад във времето на независимата променлива потвърди общоприетото схващане, че въглеродният диоксид има водещ принос за глобалното затопляне на Земята. Също така, анализът разкри значително влияние на времевите изменения на земното магнитно поле върху вариациите на приземната температура, в разглеждания 110-годишен период. Експериментът с линейната многофакторна регресия демонстрира, че подбирането на факторните променливи в регресионното уравнение трябва да става много внимателно, с отчитането на потенциалните зависимости между тях. Ако такава предварителна информация не съществува, то

използването на разнообразни методи за определянето на адекватността на регресионния модел е абсолютно наложителна.
Нелинейният статистически анализ показа, че вариациите на геомагнитното поле са в състояние да „обяснят“ същия процент от изменчивостта на приземната температура за периода 1900-2010 г., както и CO_2 – а именно 76%. Крайната оценка за качеството на избрания от нас модел, се основава на редица критерии за диагностика, които потвърдиха неговата точност.

Благодарности:

Авторите изказват своята благодарност на Фонд научни изследвания - договор No. ДН 14/1 11.12.2017 и Министерство на образованието и науката – Национална програма “ Млади учени и постдокторанти”, DCM # 577 / 17.08.2018, с чиято помощ бе осъществено изследването.

Литература

Cox, P., Betts, R., Jones, C. et al. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. Nature 408, 184–187 (2000). https://doi.org/10.1038/35041539

IPCC, 2007, (Intergovernmental Panel on Climate Change), Climate Change 2007: The Physical Science Basis, edited by Solomon S., et al., Cambridge Univ. Press, New York, 966pp.

Kenny, D.A., 1979, Correlation and causality, John Wiley & Sons Inc, New York.

Kilifarska, N., 2012, Mechanism of lower stratospheric ozone influence on climate. Corporate Governance An International Review. 6. 279-290.

Kitaba, I., Hyodo, M., Katoh, S., Dettman, D.L., Sato, H., 2013, Midlatitude cooling caused by geomagnetic field minimum during polarity reversal, PNAS, 110, 1215–1220, https://doi.org/10.1073/pnas.1213389110.

Knudsen, M.F., Riisager, P., 2009, Is there a link between Earth’s magnetic field and low-latitude precipitation?, Geology 37, 71–74. https://doi.org/10.1130/G25238A.1.

Usoskin, I.G., Mursula, K., Solanki, S.K., Schuessler, M., Kovaltsov, G.A., 2002, A physical reconstruction of cosmic ray intensity since 1610, J. Geophys. Res., 107(A11), doi:10.1029/2002JA009343.

Valet, J., Meynadier, L., 1993, Geomagnetic field intensity and reversals during the past four million years, Nature, 366, 234. https://doi.org/10.1038/366234a0.

Worm, H.-U., 1997, A link between geomagnetic reversals and events and glaciations, Earth and Planetary Science Letters, 147, 55–67, https://doi.org/10.1016/S0012-821X(97)00008-3.

Yiou, P., et al., 1994, Nonlinear variability of the climatic system from singular and power spectra of late Quaternary records, Clim. Dyn., 9, 371–389.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N6

Paleoclimate change during the last 450ka imprinted in the magnetic properties of Kaolinovo loess-paleosol sequence

Bozhurka Georgieva[1], Diana Jordanova[1], Neli Jordanova[1], Daniel Ishlyamski[1]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev, bl.3, 1113 Sofia, e-mail: bojurkageorgieva@abv.bg

Key words: magnetism, iron oxides, loess – paleosol sediments, paleoclimate, Quaternary

Abstract

Loess-paleosol sediments are among the best terrestrial recorders of Quaternary climate change. Magnetic properties of continuously sampled profile near Kaolinovo (NE Bulgaria) are studied for revealing the evolution of the local environmental conditions during the last 450ky. Magnetic characteristics, including magnetic susceptibility, frequency dependent magnetic susceptibility and laboratory induced anhysteretic and isothermal remanences, were measured for continuously sampled section. Variations with depth of all parameters show their high sensitivity to cyclic alteration between cold glacial and warm interglacial stages during the Middle Pleistocene in the region. The relative magnetic enhancement of paleosol units points to changing humidity of the past four interglacials, consistent with the records of global climate change.

Палеоклиматични изменения за последните 450 хил.г., записани в магнитните свойства на льосово-почвения профил Каолиново

Божурка Георгиева[1], Диана Йорданова[1], Нели Йорданова[1], Даниел Ишлямски[1]

[1] Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География, БАН, ул. Акад. Г. Бончев, бл.3, 1113 София; email: bojurkageorgieva@abv.bg

Ключови думи: магнетизъм, окиси на желязото, льосово-почвени седименти, палеоклимат, кватернер

Резюме

Льосово-почвените сеидменти са едни от най-добрите архиви на измененията на климата през кватернера. Изследвано е поведението на магнитните свойства в дълбочина по льосово-почвен профил от района на Каолиново (СИ България) за изучаване измененията в околната среда за последните 450 хил.г. Проведени са измервания на набор от магнитни параметри, включващи магнитна възприемчивост, честотно-зависима магнитна възприемчивост и лабораторно създадени безхистерезисна и изотермична намагнитености за всички нива от опробвания непрекъснато профил. Вариациите на всички магнитни характеристики показват висока чувствителност спрямо редуването на льосови и палеопочвени хоризонти, които са свързани с цикличната смяна на студени глациални с топли интерглациални епохи през средния плейстоцен. Относителната степен на педогенно магнитно обогатяване на палеопочвените хоризонти показва наличието на изменения в хумидността на интерглациалите, съответстващо и на общите тенденции в глобалните климатични изменения за този геоложки период от време.

Introduction

Loess sediments are common terrestrial Quaternary deposits in the mid-latitudes. The most typical feature of the loess sediments is the dominance of the silt fraction (between 60 and 90%) in their grain size distribution. Build up of sequences of successive loess deposits and interbedded paleosols are the response of the Earth's system to global climate oscillations during the Quaternary (Pye, 1995; Muhs, 2013). European loess deposits are valuable source of palaeoclimatic information (Forster et al., 1996; Jordanova and Petersen, 1999; Panaiotu et al., 2001; Jordanova et al., 2007; Antoine et al., 2013; Markovic et al., 2015 and references cited therein). With the pioneering work of Heller and Liu (1984) the research on magnetic properties of the loess/paleosol sediments as records of past climate changes started. Notwithstanding the numerous valuable research on this

topic (Markovic et al., 2015), there are still fundamental problems to solve, such as revealing the exact mechanism of the pedogenic iron oxides formation in response to pedogenesis that starts as climate change from glacial to interglacial (interstadial). Widely applied quantitative paleoclimate reconstructions based on the magnetic enhancement of paleosols are based on the assumption that soil formation is accomplished through continuing dust accumulation (Maher et al., 2003). In such regime, pedogenesis and formation of pedogenic iron oxides proceed through the assimilation of the newly settled dust during the pedogenic development itself. This finding allows making a direct correlation between the magnetic signature and climate components, considering that the other soil-forming factors (time and parent rock) do not change during that period and do not influence the soil properties. This requires that the process of pedogenic magnetic enhancement reaches saturation relatively fast so that it realistically reflects environmental conditions during the soil formation (Maher and Thompson, 1995). In this contribution we show new mineral and rock-magnetic data for a loess-paleosol sequence at Kaolinovo (NE Bulgaria) which reveal the history of climate change and eolian dust dynamics in the area during the last 450 ky.

SITE DESCRIPTION AND METHODS

Loess deposits in Bulgaria are part of the lower Danube loess area, which belongs to the European loess belt (Haase et al., 2007) (Fig. 1a).

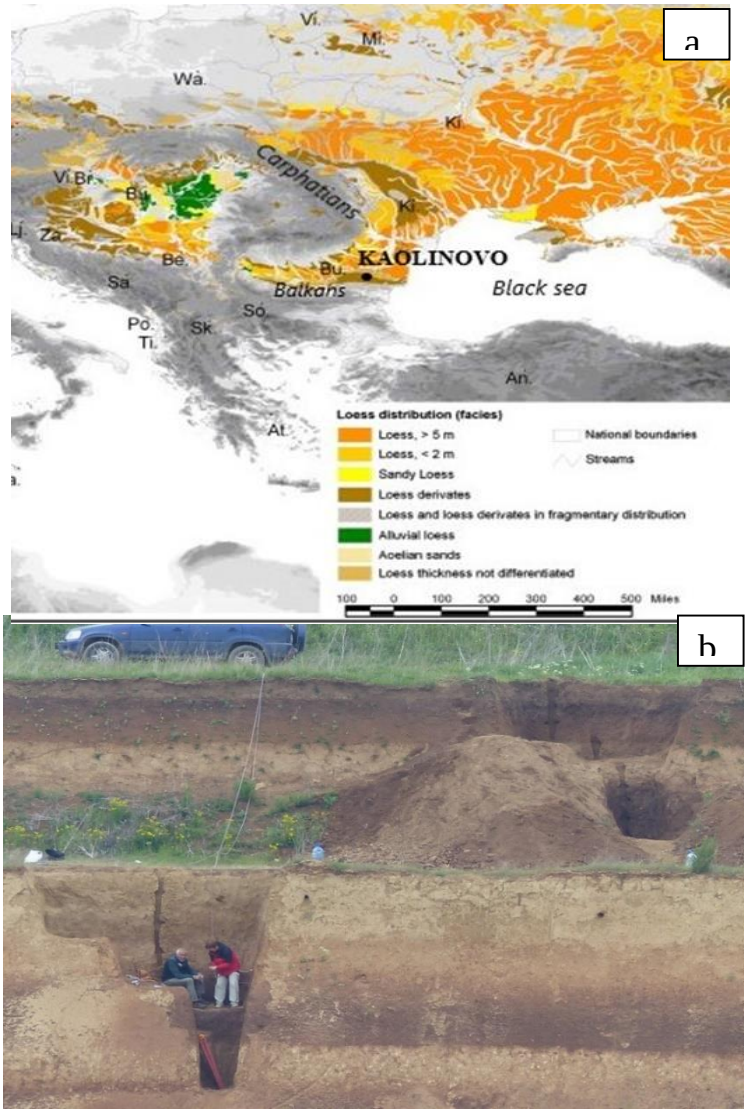


Figure 1. a) Loess cover in Bulgaria in the context of the spread of European loess belt (modified from Haase et al., 2007); b) Photograph of the upper part of the loess-paleosol sequence at Kaolinovo quarry.

The full loess paleosol complex in NE Bulgaria is represented by the Holocene soil (So), seven loess horizons (L_1 to L_7) and six interbedded paleosols (S_1 to S_6) (Evlogiev, 2007). Inspite of the already published works on other profiles from the Bulgarian loess (Jordanova et al., 2008, 2011), establishment of new records improve significantly our robust knowledge on the role of regional, local and global environmental factors in determining the magnetic signature of loess-paleosol sediments.

Kaolinovo profile was sampled in an open pit quarry for kaolin extraction (Fig. 1b). The sampling covers the uppermost 12m of the deposits, which encompass S_0, L_1, S_1, L_2, S_2, L_3, and S_{3-4} units. Vertical sections were cleaned from the surficial weathered material, removing about 50cm thick layer. Profile was described and bulk loose material was continuously sampled at 2cm resolution. After laboratory air drying, material was sieved through 2mm sieve and used for laboratory magnetic measurements.

Magnetic susceptibility of the bulk material was measured on MFK – 1A susceptibility bridge (AGICO, Czech Republic) at 200 A/m field and two working frequencies – 976 Hz and 15616 Hz. The material was filled into standard 10 cm3 plastic cylinders. Low-field mass specific magnetic susceptibility (χ) is calculated using sample's weight and the measured susceptibility at lower frequency. Frequency-dependent magnetic susceptibility χ_{fd} is calculated as the difference between the measured susceptibilities at low and high frequencies. This parameter is commonly used as an indicator for the presence of viscous superparamagnetic ferrimagnetic iron oxides (Дунлоп анд Оздемир, 1997). Laboratory magnetic remanences were measured on cubic samples with standard 2x2x2 cm size. The samples were prepared by mixing 2 g of dry powdered material with gypsum and water and left to harden in plastic molds, which were subsequently removed.

Anhysteretic remanent magnetization (ARM) was imparted using a Molspin AF demagnetizer with a 100 mT AF field superimposed on a 0.1 mT DC field. Isothermal remanent magnetization (IRM) in 2 T field and subsequent -100 mT and -300 mT back fields have been acquired along the z-axis in IM-10-30 pulse magnetizer (ASC Scientific, USA). Magnetic remanences were measured on JR-6A automatic spinner magnetometer (AGICO, Czech Republic) with a sensitivity of $2x10^{-6}$ A/m

Magnetic mineralogy was deduced by continuous thermal demagnetization of magnetic susceptibility (thermomagnetic analysis) (K(T)) with heating from room temperature up to 700°C and cooling back at heating rate of 10deg/min using CS-23 furnace attached to KLY-2 kappabridge (AGICO, Czech Republic). Curie (Neel) temperatures of the main iron oxides are identified through their unblocking and K-decrease at certain mineral-specific characteristic temperatures.

RESULTS AND DISCUSSION

Robust interpretation of variations of magnetic parameters along loess-paleosol profiles as paleoclimate proxies require firm identification of the type and grain size of the strongly magnetic iron oxides, carrying the pedogenic magnetic signal. This task is accomplished in the present study by thermomagnetic analysis of magnetic susceptibility (Fig. 2). Representative results for loess and paleosol samples are shown, revealing major drop of the signal at 580 – 600°C, characteristic as Curie point of magnetite (oxidized magnetite). Recent soil So exhibits also another noticeable K-decrease at 450°C, suggesting the occurrence of thermal transformation of unstable strongly magnetic maghemite to weakly magnetic hematite (Dunlop and Özdemir, 1997). The increase of susceptibility upon cooling reflects probably appearance of new magnetite like minerals as a product of thermal destruction of initial clay minerals in the presence of organic matter. Such strong transformations are not observed in the samples from the lower part of S_1 and loess L_2, probably because of significantly lower content of secondary clay minerals and organics. The results point out that pedogenic magnetite and maghemite are the major carriers of the enhanced magnetic properties. Consequently, depth changes in the concentration of magnetite and maghemite will reflect qualitatively the contrast between more humid interglacial conditions from arid and cold glacials.

Depth changes of a set of concentration dependent magnetic parameters and ratios are shown in Fig. 3. Magnetic susceptibility (χ), frequency-dependent magnetic susceptibility (χ_{fd}), ARM, IRM_{2T} show synchronous behavior with depth. Each one of these parameters is sensitive to the presence of ferrimagnetic fraction in a certain magnetic domain state. Namely, the superparamagnetic (SP) fraction dominates in χ_{fd}; single domain (SD) fractions contribute the most to ARM; multidomain (MD) grains have major share in IRM_{2T} (Liu et al., 2012). Increase of these magnetic parameters are observed in all soils (Holocene soil and the three paleosoils) (Fig. 3) as generally observed in most loess-paleosoil sequences elsewhere (Maher, 2016).

The highest pedogenic magnetic enhancement is expressed by maxima within the S_1 and S_2 paleosols (Fig. 3). Lower pedocomplex (S_{3-4}) is characterized by smaller enhancement.

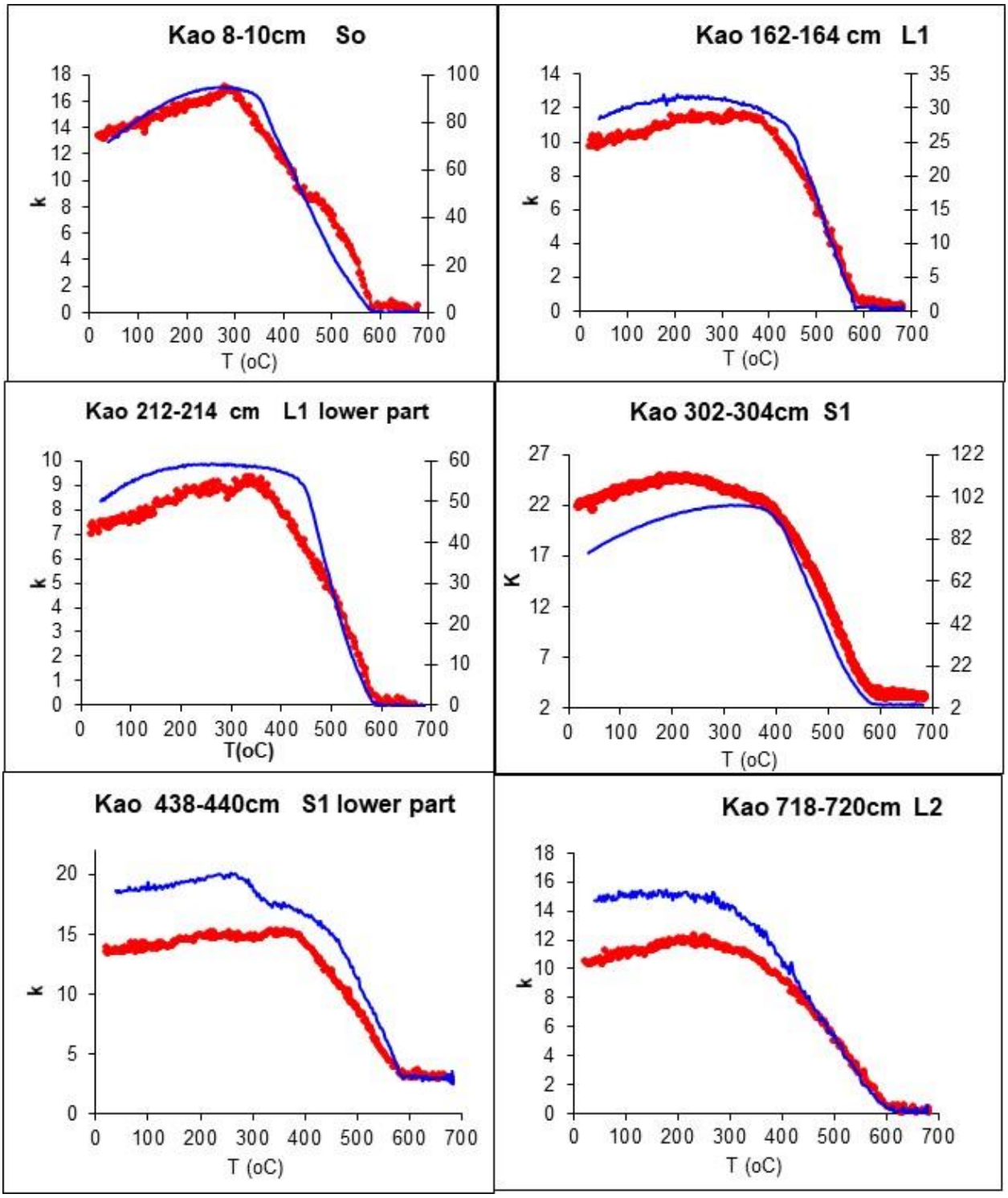


Figure 2. Thermomagnetic analysis of magnetic susceptibility k ($x10^{-6}$ SI) for representative samples from the uppermost 7m of the loess paleosol profile at Kaolinovo. Heating curve is shown in red, cooling – in blue color. Right y-axis corresponds to susceptibility during cooling in cases when strong mineralogical changes at high temperature cause increasing susceptibility as a result of appearance of a new heating-induced strongly magnetic phase.

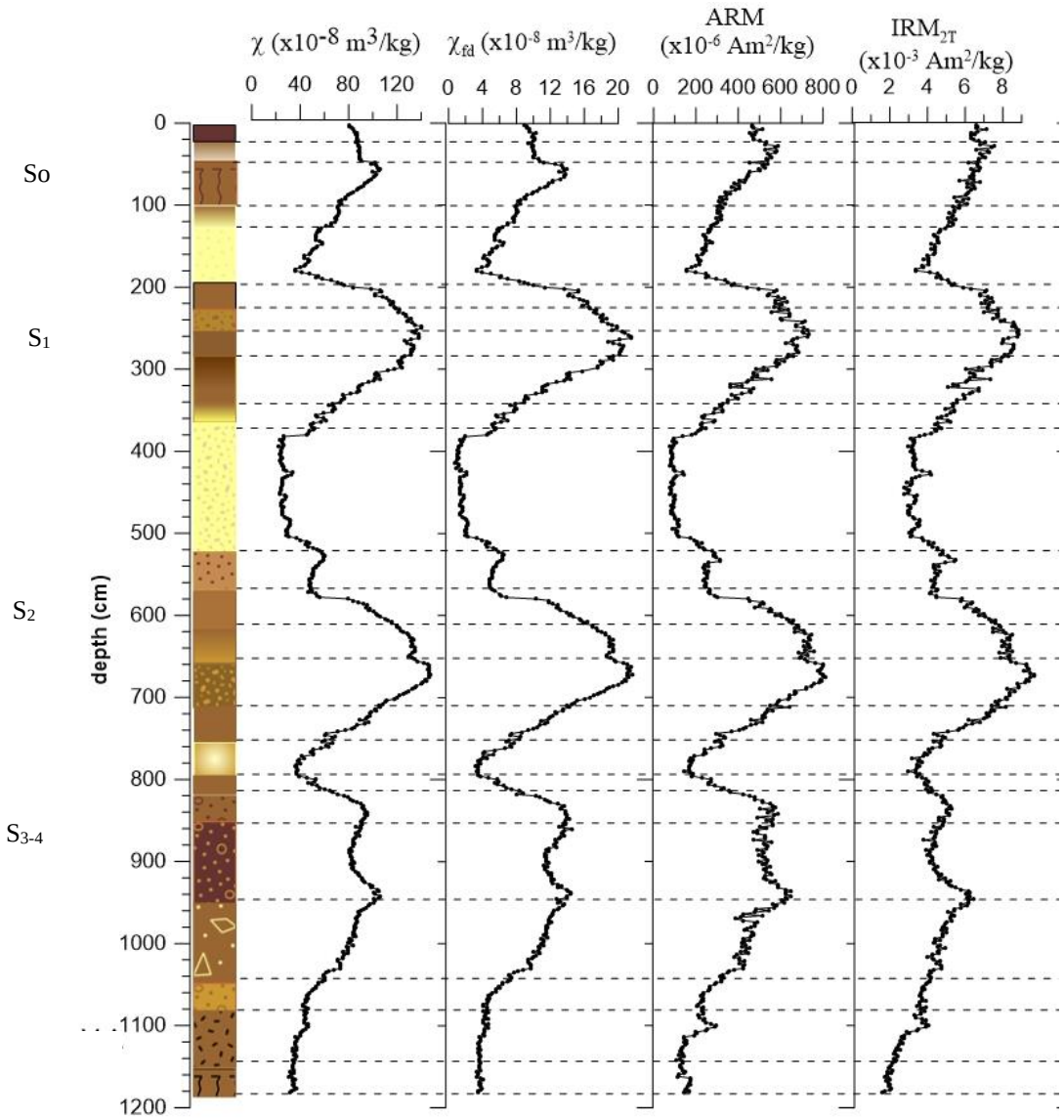


Figure 3. Depth variations of concentration dependent magnetic parameters along Kaolinovo profile. Enhanced content of pedogenic strongly magnetic fraction is deduced by systematically higher values in paleosols' horizons.

The observed clear stratigraphic distinction between loess horizons and paleosols allow for reliable correlation of Kaolinovo profile with the available paleoclimate records of global sea surface temperature (stacked oxygen isotope record ^{18}O of bentic foraminifera by Lisiecki and Raymo, 2005). Further important age constrains of the section are available through carried out IRSL dating of the upper three loess horizons by Balescu et al. (2020). The obtained ages of 45±2ka for L_1; 167±7ka for L_2 and 296±17ka for L_3 suggest that these loesses were formed during cold marine isotope stages MIS 2-4, MIS 6 and MIS 8. The proposed correlation of Kaolinovo record with earlier paleomagnetically studied Viatovo profile (Jordanova et al., 2008) and global paleoclimate record is shown in Fig. 4. Similar behavior of magnetic characteristics along depth of the Holocene soil and S_1 paleosol along with their matching in field description suggest that much higher maximum magnetic enhancement in S1 is due to persistence of more humid and warm conditions during the last interglacial period as compared to modern climate. This conclusion is consistent with the observations in other European paleoclimate records (Maher, 2016). Similarly, high magnetic enhancement in older paleosol S_2 formed during MIS7 is also indicative for a more humid climate, while lower enhancement in S_{3-4} points to some degree of aridization during MIS 9-11. Such a trend could be deduced only for MIS 11 in Viatovo record, suggesting that local conditions for dust accumulation and pedogenesis may influence the paleoclimate significance of magnetic susceptibility.

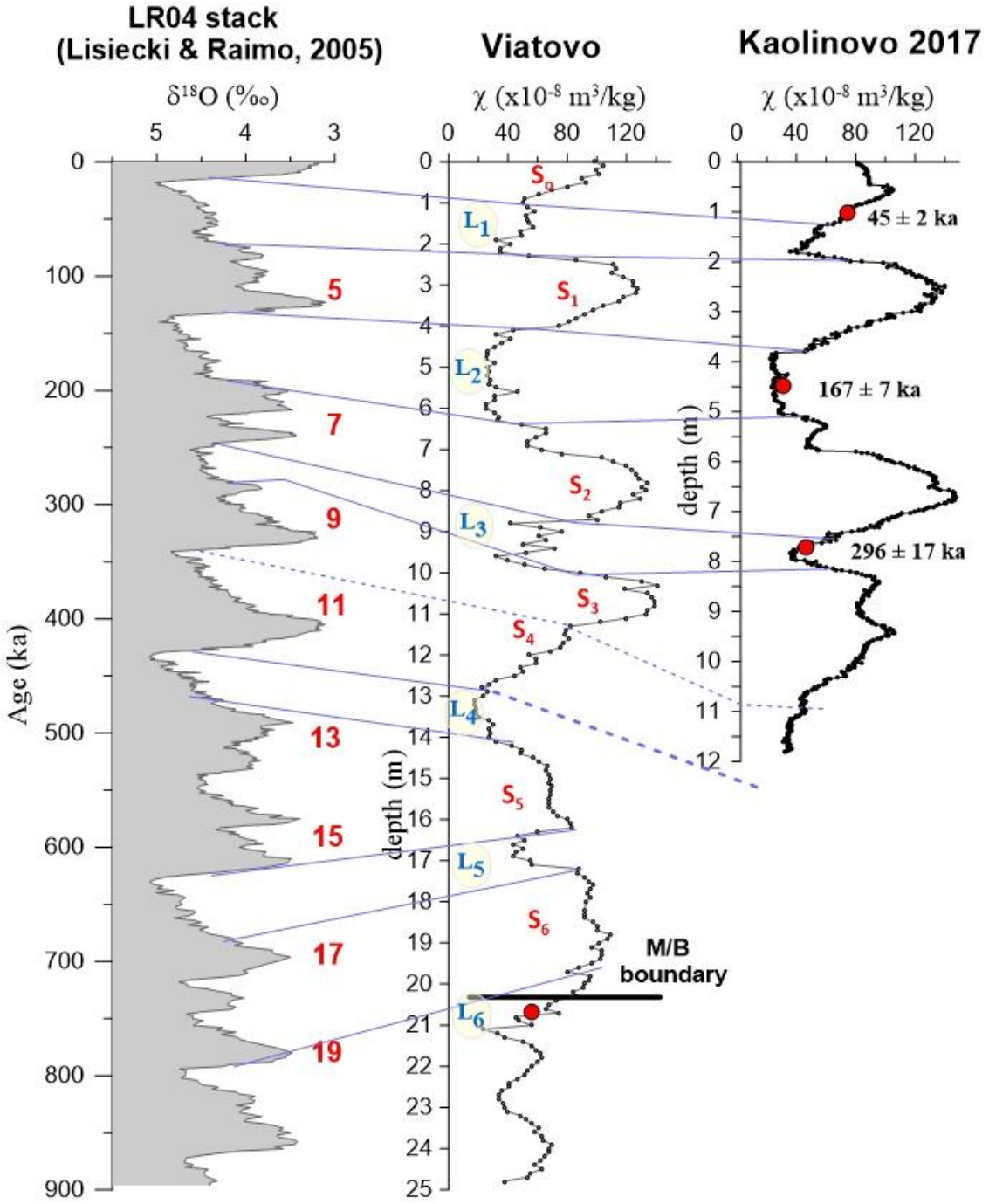


Figure 4. Correlation of magnetic susceptibility record along Kaolinovo profile with global stacked LR04 record of bentic $\delta^{18}O$ for the last 800ka (Lisiecki and Raimo, 2005) and magnetic susceptibility record from Viatovo quarry (Jordanova et al., 2008) along with paleomagnetically identified Matuyama/Brunhes (M/B) geomagnetic reversal. The three PIR-IR dates of Kaolinovo profile (Balescu et al., 2020) are also shown. Dashed line indicates the level of dense $CaCO_3$ concretions levels in Viatovo and Kaolinovo, marking the position of pedogenically transformed or eroded loess unit L4. Warm interglacial stages are indicated by red numbers.

Acknowledgements: This study is financially supported by project КП-06-Н34/2 funded by Bulgarian National Science Fund.

References:

Antoine, P., Rousseau, D.D., Degeai, J.P. Moine, O., Lagroix, F., Kreutzer, S., Fuchs, M., Hatté, C., Gauthier, C., Svoboda, J., Lisa, L., 2013. High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the Last Interglacial–Glacial cycle in Central Europe: the loess–palaeosol sequence of Dolní Vestonice (Czech Republic). Quat. Sci. Rev. 67, 17–38.

Balescu, S., Jordanova, D., Brisson, L.F., Hardy, F., Huot, S., Lamothe, M. 2020. Luminescence chronology of the northeastern Bulgarian loess-paleosol sequences (Viatovo and Kaolinovo). Quaternary International, 552, 15 – 24.

Dunlop D. and Ozdemir, O., 1997. Rock Magnetism. F undamentals and Frontiers, ed. D.Edwards, Cambridge Studies in Magnetism, Cambridge University Press.

Evlogiev, Y., 2007. Evidence for the Aeolian Origin of Loess in the Danubian Plain. Geologica Balkanica, 36, 3-4, 31 – 39

Forster, T., Heller, F., Evans, M.E., Havlicek, P., 1996. Loess in the Czech Republic: magnetic properties and paleoclimate. Stud. Geophys. Geod. 40, 243–261.

Haase, D., Fink, J., Haase, G., Ruske, R., Pécsi, M., Richter, H., Altermann, M., Jäger, K-D., 2007. Loess in Europe — its spatial distribution based on a European Loess Map, 1:2 500 000. Quat. Sci. Rev., 26, 1301-1312.

Heller, F., Liu, T., 1984.Magnetism of Chinese loess deposits. J. R. Astron. Soc. 77, 125–141.

Jordanova, D., Petersen, N., 1999. Palaeoclimatic record from loess-soil section in NE Bulgaria. Part I: Rock-magnetic properties. Geophys. J. Int. 138, 520–532.

Jordanova, D., Hus, J., Geeraerts, R., 2007. Palaeoclimatic implications of the magnetic record from loess/palaeosol sequence Viatovo (NE Bulgaria). Geophys. J. Int., 171, 1036-1047.

Jordanova, D., Hus, J., Evlogiev, J., Geeraerts, R., 2008. Palaeomagnetism of the loess/ palaeosol sequence in Viatovo (NE Bulgaria) in the Danube basin. Phys. Earth Planet. Inter. 167, 71–83.

Jordanova, D., Jordanova, N., Grygar, T., 2011. Rock magnetic and DRS characteristics of loess palaeosol sediments from Bulgaria and their link to palaeo-environmental conditions. In: The Earth's Magnetic Interior. IAGA Special Sopron Book Series, Volume 1. Petrovsky, E., Herrero-Bervera, E., Harinarayana, T., Ivers, T. (Eds.). 1st Edition, 2011, XVIII, Springer Science+Buisness Media B.V., 399-412.

Lisiecki, L.E. and Raymo M.E., 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic d18O records, Paleoceanography, 20, PA1003, doi:10.1029/2004PA001071.

Liu, Q., Roberts, A., Larrasoaña, J., Banerjee, S., Guyodo, Y., Tauxe, L. and Oldfield, F., 2012. Environmental Magnetism: Principles and Applications. Reviews of Geophysics, 50, RG4002.

Maher, B. and Thompson, R., 1995. Paleorainfall reconstructions from pedogenic magnetic susceptibility variations in the Chinese loess and paleosols. Quat. Res., 44, 383-391.

Maher B.A., Yu H.M., Helen Roberts H.M., Wintle A.G., 2003. Holocene loess accumulation and soil development at the western edge of the Chinese Loess Plateau: implications for magnetic proxies of palaeorainfall. Quat. Sci. Rev., 22, 445 – 451.

Maher, B.A., 2016. Palaeoclimatic records of the loess/palaeosol sequences of the Chinese Loess Plateau. Quaternary Science Reviews 154: 23 – 84.

Marković S. B., Stevens T., Kukla G., Hambach U., Fitzsimmons K., Gibbard P., Buggle B., Zech M., Guo Z., Hao Q., Wu H., O'Hara Dhand K., Smalley I., Újvári G., Sümegi P., Timar-Gabor A., Veres D., Sirocko F., Vasiljević D.A., Jary Z., Svensson A., Jović V., Lehmkuhl F., Kovács J., Svirčev Z., 2015. Danube loess stratigraphy — Towards a pan-European loess stratigraphic model. Earth-Science Reviews, 148, 228 – 258.

Muhs, D.R., 2013. Loess and its geomorphic, stratigraphic, and paleoclimatic significance in the Quaternary. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Lancaster, N., Sherman, D.J., Baas, A.C.W. (Eds.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 11, Aeolian Geomorphology, pp. 149–183.

Panaiotu, C.G., Panaiotu, C.E., Grama, A., Necula, C., 2001. Paleoclimatic record from a loess–paleosol profile in southeastern Romania. Phys. Chem. Earth A 26, 893–898.

Pye, K., 1995. The nature, origin and accumulation of loess. Quaternary Science Reviews, 14, 653–657.

Thompson, R., Oldfield, F., 1986. Environmental Magnetism. Allen&Unwin, London.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N7

Origin of the magnetic properties of lichens and mosses from Livingston and King George Islands (South Shetlands, Antarctica)

Daniel Ishlyamski [1], Dimo Dimov[2], Neli Jordanova[1], Diana Jordanova[1]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., block 3, 1113 Sofia, Bulgaria, email: kirilishlyamski@abv.bg; neli_jordanova@hotmail.com; diana_jordanova77@abv.bg
[2] Bulgarian Antarctic Institute, "Tzar Osvoboditel" 15 blvd., Sofia 1504, Bulgaria, email: dimo@gea.uni-sofia.bg

Key words: magnetic susceptibility, lichens, moss, Bulgarian Antarctic Base, environmental magnetism

Abstract
Lichen and mosses are extensively used as very effective and sensitive biomonitoring media. Since these species are the most widespread vegetation in Antarctica, they are ideally suited for sensitive environmental monitoring. A collection of lichens and mosses from Livingston Island (14 locations), King George Island (4 locations) and from beaches of the Beagle Channel (3 locations) were investigated by mineral magnetic methods. The aim of the study was to test the environmental quality at the Antarctic islands where human activities occur at the scientific research stations. Magnetic measurements involved magnetic susceptibility, isothermal remanent magnetization, step-wise acquisition of isothermal remanence for identification of magnetic minerals. Magnetic susceptibility measurements showed that light lichens generally show lower magnetic enhancement, while dark lichens and mosses have higher susceptibility values. Based on the obtained linear relationship between magnetic susceptibility of vegetation species and respective soil/sediment at each location, it was concluded that magnetic enhancement of lichens and mosses is mainly due to substrate take-up and not to anthropogenic air pollution.

Изследване на източника на магнитни свойства на лишеи и мъхове от островите Ливингстън и Кинг Джордж (Южношетландски острови, Антарктика)

Даниел Ишлямски [1], Димо Димов [2], Нели Йорданова[1], Диана Йорданова[1]

[1] Национален Институт по Геофизика, Геодезия и География, Българска Академия на Науките, ул. Акад. Г. Бончев, блок 3, 1113 София, България; email: kirilishlyamski@abv.bg; neli_jordanova@hotmail.com; diana_jordanova77@abv.bg
[2] Име на организация; Български Антарктически Институт, бул. Цар Освободител, 15, 1504 София, България; email dimo@gea.uni-sofia.bg

Ключови думи: магнитна възприемчивост, лишеи, мъхове, Българска Антарктическа база, магнетизъм на околната среда

Резюме
Лишеите и мъховете са често използвани за целите на биомониторинга на качеството на околната среда. Тези растителни видове са най-широко разпространени в Антарктика и често се използват като чувствителни пасивни колектори за мониторинг на антропогенното замърсяване. Изследвана е колекция от лишеи и мъхове от остров Ливингстън (14 локации), остров Кинг Джордж (4 локации) и крайбрежието на канала Бигъл (3 локации) чрез използване на магнитни методи. Целта на изследванията е да се установи качеството на околната среда на Антарктическите острови Ливингстън и Конг Джордж, където ежегодно има човешка дейност на научните бази. Магнитните изследвания включват: магнитна възприемчивост, изотермична остатъчна намагнитеност и стъпково придобиване на изотермична намагнитеност за идентифициране на магнитните минерали. Резултатите от измерванията на магнитната възприемчивост показват, че светлите лишеи имат ниска магнитна възприемчивост, докато тъмно оцветените лишеи и мъховете са с по-висока възприемчивост. На базата на получената права линеийна връзка между магнитната възприемчивост на растителните проби и на положната скала/почва в съответната точка на опробване, е направен изводът, че магнитното обогатяване на лишеите и мъховете се дължи на извличане на окиси на желязото от подложния субстрат, а не на отлагане на замърсители от въздуха.

Introduction

The Antarctic zone is defined geographically as all lands and adjoining ice shelves located south of latitude 60°. The Antarctic Peninsula as a part of the Maritime Antarctica has a warmer climate than the interior Antarctic continent (Fig. 1a). Wider territories are therefore ice-free and milder climatic conditions (e.g. higher mean annual temperatures and larger volume of free running water) are advantageous for vegetation growth. Nevertheless, the dominant terrestrial vegetation in Antarctic Peninsula consists mostly of lichens and mosses (Câmara et al., 2020). Lichens are nature's first plants to penetrate into the ice-free areas and successfully adapt in extreme environmental conditions (Olech, 2002). In the terrestrial ecosystem of Antarctica lichens constitute diverse, abundant, and important flora which is the most widespread and cover big ice-free coastal areas (Søhting et al., 2004; Otero et al., 2013).
King George Island and Livingston Island are the two largest islands of the South Shetlands group. King George Island is the largest one which is located about 120 km from the Antarctic continent. The island is positioned between 61°50' and 62°15'S latitude and longitudes 57°30' and 59°01' (Fig. 1b). The plant cover of King George Island is largely dominated by lichens (Olech, 2002) and lichen-moss associations (Victoria et al., 2006).
Livingston Island is located between 62° 27′ and 62° 48′ S, and 59° 45′ and 61° 15′ W (Fig. 1b). Most of the island's surface is covered by ice and only some zones of Byers Peninsula and Hurd Peninsula are ice-free and vegetated. Byers Peninsula occupying the western part of Livingston Island is the largest de-glaciated terrestrial area in the South Shetlands (Palacios et al., 2020).

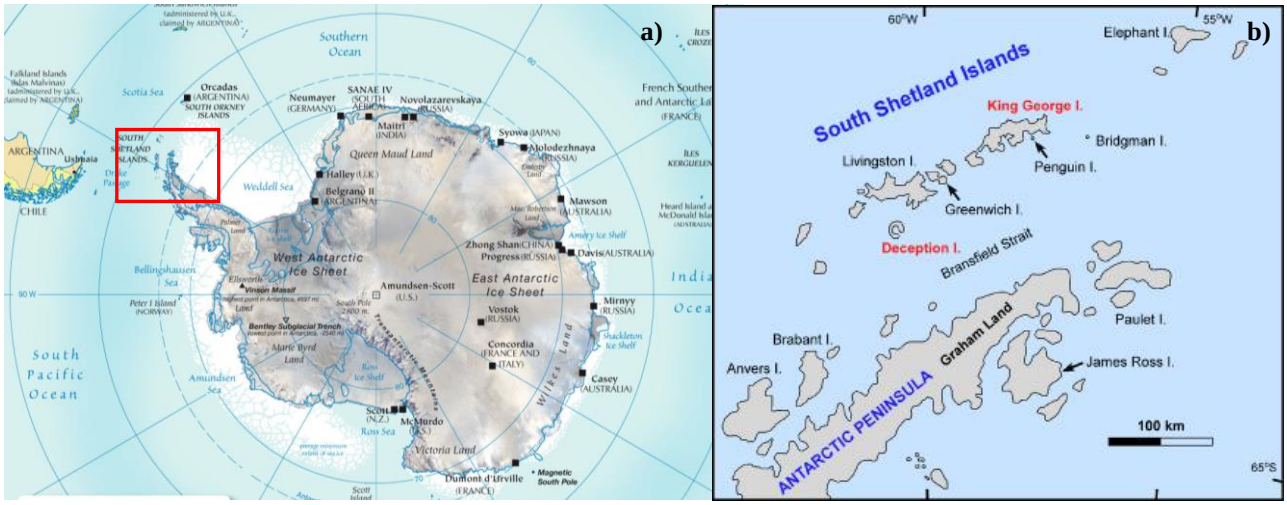


Figure 1. Location map: Antarctic continent (a) and location of South Shetland Islands (b).

Lichens and mosses are widely utilized in environmental studies as sensitive bio-indicators for the quality of the environment (Wolterbeek, 2002). The lichens and mosses lack roots in contrast to higher plants. This is supposed to be a favorable condition for pollution monitoring, because it allows the assumption to be done that their mineral content arises as a result of the entrapment of metal-rich particulates from aerial sources and not by take-up from the substratum. However, mineral uptake or other contributions from the substrate may occur as well (Wolterbeek, 2002). Lichens and mosses are mostly used as biomonitor plants for atmospheric trace elements, radionuclides, deposition of nitrogen and acidity, atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), gaseous pollutants such as SO_2, NO_2, HF, or O_3 (Wolterbeek, 2002 and references therein).
Environmental magnetism studies focused on anthropogenic pollution monitoring and evaluation also utilize different vegetation species as favorable media for application of magnetometric method in assessment of air-borne atmospheric pollution (Jordanova et al., 2003; Vuković et al., 2015; Hofman et al., 2017). Lichens are also considered and used as suitable biomagnetic monitors mainly of traffic pollution which capture particulate matter from the air (Chaparro et al., 2013; Gómez et al., 2021). Magnetic enhancement of

lichens/mosses from pollution is due to the fact that anthropogenic emissions from various sources very often contain strongly magnetic Fe-containing particles which are entrapped in the vegetation tissue.
The aim of the present study was to investigate the origin of the magnetism of a set of lichen and mosses collected from pristine areas of the Antarctic Peninsula and to test the hypothesis of recent anthropogenic pollution in Antarctic zones by human's activities.

Samples and methods

A collection of lichens and mosses was gathered during the 2008 and 2009 summer seasons from Livingston Island (14 locations), King George Island (4 locations) and from beaches of the Beagle Channel (at the southern tip of South America). For the purposes of our magnetic study, lichen species were roughly categorized as "light lichen", "black (or dark) lichen". Specialized studies classify light lichens as part of *Usnea* from the *Neuropogon* group (Seymour et al., 2007), with most widespread occurrence of *U. antarctica* and *U. aurantiaco-atra* in the study area. Black (dark) lichens in most cases could be related to *Himantormia lugubris* (Sancho et al., 2020). Mosses are described as *Polytrichastrum alpinum*, *Pohlia cruda*, *Sanionia georgico-uncinata*, *Syntrichia filaris* (Culicov et al., 2017). Depending on the locations, from one and the same site samples from light lichens, black lichens and moss were taken separately. Soil/sediment samples from few locations at King George and Livingston Islands were also gathered.
Detailed list and description of the collection is given in Table 1. Sampling locations are identified by their respective GPS coordinates (Table 2).

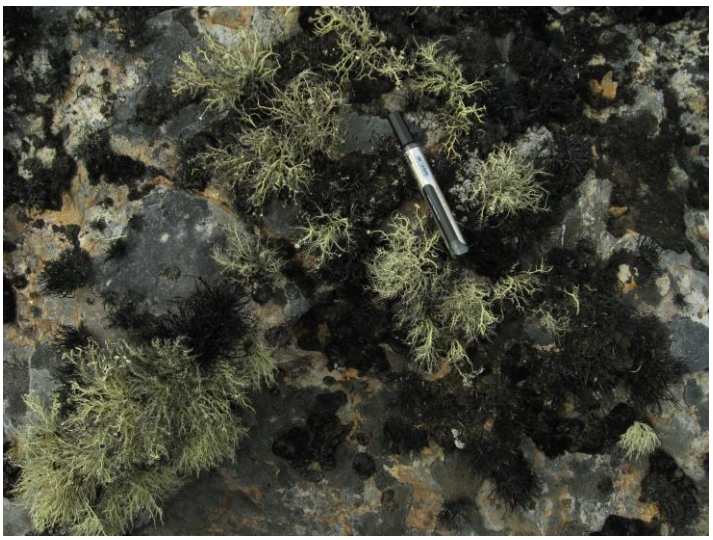


Figure 2. Black and light lichens from site P1.



Figure 3. Moss and light lichens from site P3.



Figure 4. Light and dark lichens from site BGL-1.

Table 1. Description of samples from lichens, mosses and sediments/soil from Antarctic islands. Mass-specific magnetic susceptibility (χ) and isothermal remanent magnetization (IRM) are shown in the last two columns.

sample	description	vegetation/soil	χ ($x10^{-8}$ m^3/kg)	IRM $_{2T}$ $10^{-6}Am^2/kg$
		King George Island		
Kj-1	Chilean base Escudero	black moss on andesite	198.80	
Kj-2a	800m east from Bellingshausen	black moss	398.69	
Kj-2b		light lichen	41.63	
Kj-2		soil/sediment	1559.04	
Kj-3		light green moss	456.58	
Kj-3a		sand, volcanics	1198.80	
Kj-4		light lichen	0.57	
Kj4a		black lichen	142.27	
		Livingston Island		
PN-1	Pico Napier summit	light lichen	-0.83	
BB-1	Bulgarian Antarctic Base	light lichen	-1.70	774.32
P1	Papagala	moss	153.25	
P1a		light lichen	-0.47	
P1b		black lichen	44.95	1436.48
P1c		dark lichen	1.74	
P2		moss	225.21	39014.3
P2a		black lichen	7.15	8676.21
P2b		light lichen	-1.71	
P3		light lichen	0.46	1154.61
P3a		moss	186.39	21286.98
KK-1	Krumov kamuk	light lichen	5.94	552.62
M1a		black lichen	34.29	
M1	south from Moores peak	dark lichen	0.83	105.07

M2		light lichen	-0.39	
M2a		black lichen	11.76	
M3		light lichen	1.36	
L09-1	Punta Hesperides, diorites	black moss	94.39	14308.61
L09-1a		light lichen	-0.64	
L09-2	Punta Hesperides, diorites	light lichen	26.14	
L09-2a		black lichen	134.79	18319.84
L09-2b		rock	671.32	
L09-3	Todorini buzi	light lichen	-0.03	
L09-3a		black moss	112.64	19134.79
L09-4		dark lichen	21.64	1800.56
		Beagle Channel		
BGL-1		lichen on tree	-0.14	
BGL-1a		dark lichen on tree	2.48	
BGL-2		lichen	1.31	
BGL-2a		dark lichen on tree	2.31	
BGL-2b		moss on tree	6.26	
BGL-3	sea side, sand	lichen on sands	-0.70	21.07

Table 2. GPS coordinates of the sampling locations, altitude and general lithology

	LATITUDE			**LONGITUDE**			**Elevation (m a.s.l.)**	**Lithology**
sample	**deg**	**min**	**sec**	**deg**	**min**	**sec**		
King George Island								
Kj-1	62	12	6.2	58	57	42.5	~5	volcanites
Kj-2	62	13	52.8	58	56	40.4	~5	volcanites
Livingston Island								
PN-1	62	67	13.3	60	32	52.5	320	Miers Bluff Formation sediments (MBF)
BB-1	62	38	31.1	60	21	55.6	20	MBF
P1	62	38	50.1	60	21	31.1	165	MBF
P2	62	38	48.6	60	21	25.0	120	MBF
P3	62	38	44.6	60	21	37.4	80	MBF
KK-1							208	MBF
M1	62	41	4.8	60	21	54.9	300	volcanites
M2	62	41	31.8	60	21	20.6	300	volcanites
M3	62	41	24.5	60	21	28.6	300	volcanites
L09-1	62	38	35.2	60	22	20.0	40	Hesperides Point Pluton
L09-2	62	38	49.1	60	22	13.0	60	Hesperides Point Pluton
L09-3	62	38	53.1	60	22	15.7	20	MBF
L09-4	62	38	57.5	60	22	7.2	20	MBF
Beagle Channel								
BGL-1	60	44	02	39	18	8.94	0	metamorphosed sediments
BGL-2	61	43	57	39	18	6.07	0	metamorphosed sediments
BGL-3	63	43	07	39	09	6.05	0	metamorphosed sediments

Vegetation samples were packed in polyethylene bags and transported to Bulgaria. In the laboratory, lichens and mosses were carefully cleaned from all adhering rock/soil particles, air-dried and gently crushed. This material was packed in standard 10-cm^3 cylindrical containers for measurements of magnetic susceptibility. Magnetic susceptibility bridge KLY-2 (AGICO Ltd., Czech Republic) was used for measurements of volume magnetic susceptibility (k). Triple consecutive measurements were done for each sample, which were averaged for obtaining the final susceptibility value. Mass-specific magnetic susceptibility (χ) was calculated by normalizing k to the sample's weight. Lichen and moss samples were subjected to magnetic remanence measurements by preparing cubic samples of 1g vegetation material mixed with gypsum and small amount of water. Blank gypsum sample was used for subtraction of the matrix signal. Isothermal Remanent Magnetization (IRM) in a steady magnetic field of 2Tesla was induced in the cubic samples. Remanent magnetization was measured on Minispin rock magnetometer (Molspin Ltd., UK). Samples which showed not-zero IRM were subjected to step-wise acquisition of IRM. Acquisition curves were further processed using MaxUnMix software (Maxbauer et al., 2016) for coercivity components unmixing. IRM spectrum is fit by cumulative Gaussian functions (Kruiver et al., 2001). Each IRM component is characterized by its relative contribution to the total IRM (% contr.), the field at which half of the Saturation IRM is acquired (B_h), and the width of the distribution expressed through the dispersion parameter DP (one standard deviation of the logarithmic distribution).

Results

Mass-specific magnetic susceptibility (χ) data for samples from the King George island (Table 1) show high values of χ for soil and sediment samples (χ~1100 – 1600 $\times 10^{-8} m^3/kg$), relatively strongly enhanced values for mosses (χ~200-400 $\times 10^{-8} m^3/kg$) and dark lichens, and low values (0-40 $\times 10^{-8}$m3/kg) in light lichens. High susceptibility values in sediments and soil is logical, since the dominant lithology in the area is represented by volcanic rocks (Table 1). Samples from Livingston island show similar systematic in magnetic susceptibility between light and dark lichen species - χ of light lichens is generally very low or negative, while χ of dark lichens and mosses reaches 150 – 200 $\times 10^{-8} m^3/kg$ in some samples (Table 1). However, in contrast to sampling locations from King George Island, in Livingston island lithology is diverse – in some locations sediments from the Miers Bluff formation (Pimpirev et al., 2015) are dominant, while in other points plutonic rocks from the Hesperides Point pluton are outcropped, and still in other locations volcanites dominate (Table 2; Bonev et al., 2015). Magnetic susceptibility of different rock lithologies from Livingston Island are investigated in another study (Jordanova et al., 2008) which shows the following results. Sediments from Miers Bluff formation show the lowest magnetic susceptibility with median value χ_{median} = 10.5 $\times 10^{-8} m^3/kg$; volcanites from various dykes show χ_{median} = 924.6 $\times 10^{-8} m^3/kg$; samples from different parts of the Hesperides pluton display the highest magnetic susceptibility, varying in a wide range between 1000 – 7000 $\times 10^{-8}$ m^3/kg. Sample taken from the pluton at point L09-2 (Table 1) shows χ= 671 $\times 10^{-8} m^3/kg$. All lichen samples collected from Beagle Channel show very low magnetic susceptibility, fluctuating around zero (Table 1). Here we do not dispose with sample from the sediments, but in contrast to vegetation from the Islands, these lichens were collected from fallen trees (Fig. 4).

Only 13 out of 31 vegetation samples acquired measurable isothermal remanent magnetization (IRM) when steady field of 2 Tesla is applied to the cubic samples. As it is seen from Table 1, these are mostly samples from dark lichens and mosses from Livingston Island, although three samples from light lichens also show not-zero IRM_{2T} in spite of their negative/close-to-zero magnetic susceptibility. The relation between magnetic susceptibility and IRM_{2T} obtained is shown in Fig. 5. As it is expected, a linear relation between these two parameters evidences the presence of ferromagnetic minerals in the samples. The single sample, deviating from this relation is sample P1b (black lichen).
For those samples, step-wise acquisition curves of IRM were measured and analyzed for un-mixing into coercivity components. Representative examples are shown in Figure 6.

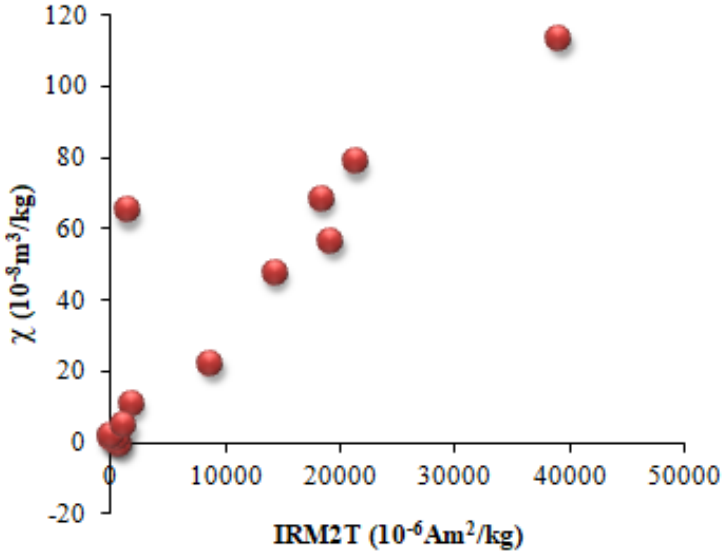


Figure 5. Magnetic susceptibility versus isothermal remanent magnetization (IRM2T) for vegetation samples.

Coercivity component analysis of IRM acquisition curves reveals the presence of three components, identified in all samples – low-coercivity one, medium coercivity and high-coercivity (Fig. 6). Summarized data on the parameters of the three components for all samples analyzed is provided in Table 3.

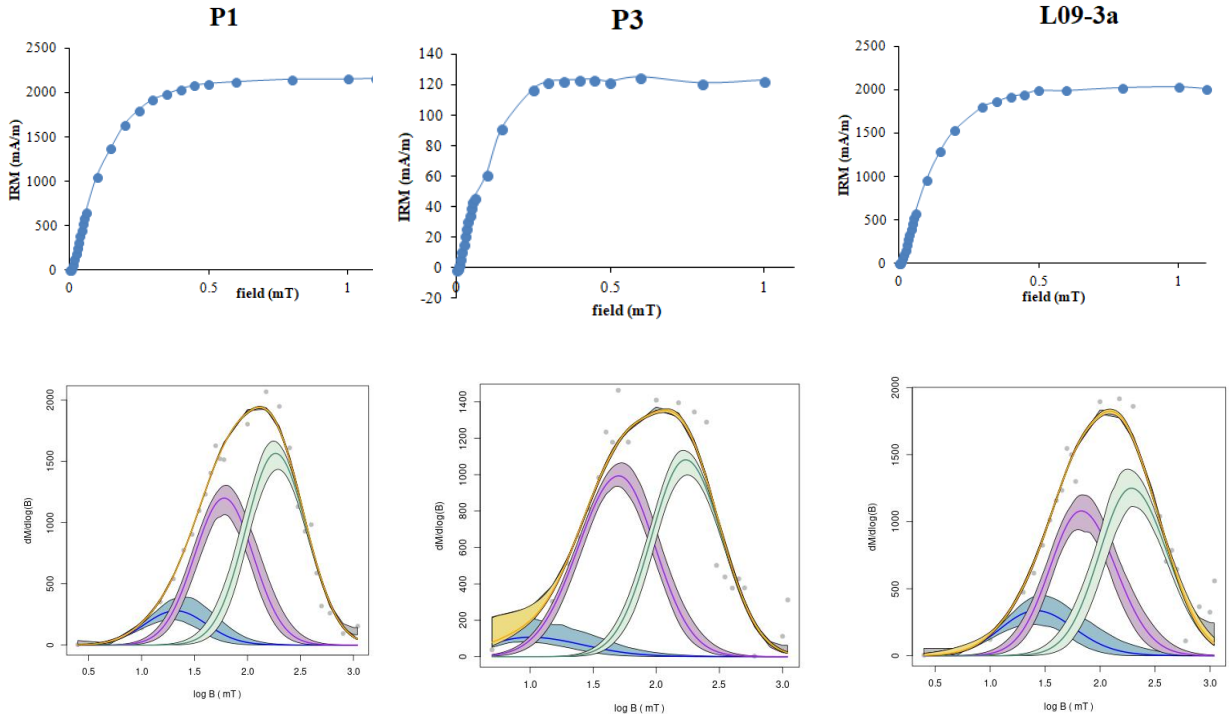


Figure 6. Examples for IRM acquisition and components unmixing for moss samples from Livingstone Island. Upper panel shows IRM-acquisition curves, lower panel represents results from coercivity unmixing using MaxUnMix software (Maxbauer et al., 2016). Data points are denoted by dots; cumulative fit together with its confidence band is shaded in yellow. Isolated IRM components depicted by blue (comp.1), pink (comp.2) and green (comp. 3) color. For details, see text.

Table 3. Results from the IRM coercivity unmixing analysis. For each component extracted its relative share in the total IRM (%contr), coercivity (Bh) and the dispersion parameter (DP) is shown).

Sample	specie	IRM comp. 1			IRM comp. 2			IRM comp. 3		
		% contr	Bh1 (mT)	DP1 (mT)	% contr	Bh2 (mT)	DP2 (mT)	% contr	Bh3 (mT)	DP3 (mT)
BB1	light lichen	27.2	23.0	2.3	65.7	115.1	2.0	7.0	269.4	1.3
KK-1	light lichen	28.5	11.4	1.3	32.9	92.0	1.9	38.5	444.0	3.2
L09-1	black moss	19.4	25.9	2.4	44.1	65.6	2.0	36.5	218.1	1.9
L09-2a	black lichen	15.6	26.8	2.2	41.0	70.6	2.0	43.3	191.7	1.9
L09-3a	black moss	13.8	27.7	2.2	39.5	71.5	2.0	46.7	206.6	2.1
L09-4	dark lichen	12.7	17.9	2.0	59.0	44.6	2.0	28.2	183.6	2.1
M1	dark lichen	3.6	10.2	2.0	48.0	34.6	2.1	48.4	148.1	2.5
P1	moss	9.5	20.9	2.6	38.7	59.7	1.9	51.8	188.3	1.9
P1b	black lichen	12.3	18.5	2.0	51.5	53.7	1.9	36.2	210.5	1.8
P2	moss	5.3	11.9	2.3	47.4	47.5	2.0	47.3	176.2	1.9
P2a	black lichen	7.9	16.0	1.9	43.1	51.1	2.0	49.0	177.7	1.9
P3	light lichen	10.0	13.7	2.0	50.1	56.7	2.2	39.7	172.6	1.8
P3a	moss	13.4	14.3	2.6	36.5	51.6	1.7	50.0	169.8	1.8

As it is evident from Table 3, the low-coercivity component is characterized by coercivity Bh1 between 11-28.5 mT, medium coercivity component has coercivity between 47.5-115 mT, while the high-coercivity component Bh varies between 148-444 mT. Components IRM2 and IRM3 have similar share in the total IRM signal, while the low-coercivity component makes up 3-28% of the total IRM (Table 3).

For several samples it was possible to compare magnetic susceptibility measured for vegetation sample and the soil/sediment from the same location. These include samples from King George Island, location L09-2 from Livingston Island (Table1), and locations L09-1, P1 and L09-3 for which magnetic data for soils were available from a previous study (Jordanova, 2016). The obtained relation is shown in Fig. 7. It is observed that magnetic susceptibility of vegetation and underlying substrate display linear relation on a logarithmic scale.

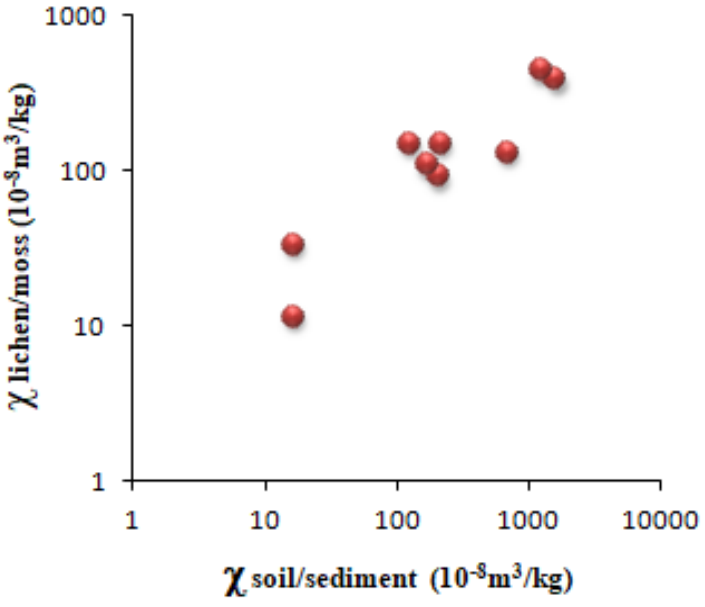


Figure 7. Relation between mass-specific magnetic susceptibility of lichen/moss samples and mass-specific magnetic susceptibility of soil/sediment in the same location.

Discussion

Identification of magnetic minerals is an essential part of each environmental magnetic study (Thompson and Oldfield, 1986). In our study, this is achieved through component analysis of IRM acquisition curves (Figure 6, Table 3). Identification of mineral magnetic phases in mosses/lichens is done by comparison of coercivities obtained for the main components in vegetation samples from the Antarctic islands with data on synthetic/natural well characterized minerals (e.g. Egli, 2004a, b). Lowest coercivity component IRM1 (Table 3) is linked to very fine viscous magnetite (Fe_3O_4) particles. IRM2 component showing coercivities mostly in the range (35 – 70 mT) is identified as coarser grained stable magnetite grains, while high coercivity component IRM3 (Table 3) could be identified as hematite (α-Fe_2O_3). All these remanence-carrying particles contribute significantly to magnetic susceptibility as evidenced by the linear relation between χ and IRM_{2T} (Fig. 5). Similar relation is reported also by Chaparro et al. (2013) for pollution study by utilizing lichens from Tandil city in Argentina.

Magnetic susceptibility is a physical parameter of the matter which in natural materials integrates the bulk response of all its constituents (Thompson and Oldfield, 1986). Natural soils, sediments and rocks contain various mineral and organic parts which additively contribute to the magnetic susceptibility – e.g. clay and matrix minerals are usually paramagnetic, organic material and water are diamagnetic, accessory metal-containing minerals (and mostly Fe-containing ones) possess ferromagnetic properties (Thompson and Oldfield, 1986). Vegetation samples, like lichens and mosses in the present study, therefore should display pure diamagnetic behaviour (e.g. negative values of magnetic susceptibility) if no additions of external (airborne or substrate-derived) metal rich particles are present in their tissue. As it is obvious from Table 1, light lichens from the collection in most cases have negative or near-zero magnetic susceptibility, while dark/black lichens and mosses generally display positive χ. The fact that different vegetation species from a given location contain various amount of the elements monitored (in this case – iron-rich ferrimagnetics) is a well known peculiarity in biomonitoring studies (Wolterbeek, 2002) which is due to the variations in the ability of each specie to capture the airborne particulates. This effect is also observed in the application of magnetometric method for pollution evaluation using vegetation as passive collector (Jordanova et al., 2010; Hofman et al., 2017). Thus, the obtained significant differences among magnetic susceptibility values measured for lichens and mosses from the same location are to be expected. Comparison between magnetic susceptibility only for mosses collected from the two islands (Table 1) shows that mosses from King George Island possess almost twice higher χ as compared to those from Livingston. However, data for the light lichens do not show systematic relation.

The problem of how to resolve the origin of the observed magnetic enhancement in vegetation samples from Livingston Island and King George Island is addressed by considering the data relating magnetic susceptibility of vegetation samples to the magnetic susceptibility of underlying substrate (Fig. 7). The obtained positive linear relation suggests that the magnetic enhancement of lichens and mosses is due mostly to take-up from the rocks/soils in the area. Mineral magnetic studies on soils and rocks from Livingston Island evidenced the presence of relatively big amount of iron oxides (magnetite, titanomagnetite, hematite) of fine and coarse grain size (Jordanova et al., 2015; Jordanova, 2016). These substrate - derived magnetic particles are most probably incorporated more effectively into mosses and black lichens. More detailed analyses are however needed to elucidate the mechanism responsible for iron oxides fixation in vegetation species. While not reported in other mineral magnetic investigations, such an effect is revealed in different geochemical studies, as summarized in Wolterbeek (2002). Therefore, it could be supposed that the areas in Livingston and King George Islands, as well as the beaches at Beagle Channel studied are not affected by anthropogenic pollution and could be still considered as pristine land. Confirmation of this conclusion comes also by the study of Ganeva and Yurukova (2004) on elemental content of mosses from Livingston Island. Similar conclusion is obtained also by geochemical study carried out on lichens and mosses from Livingston Island (Culicov et al., 2017). The authors performed analyses of elemental composition done by instrumental neutron activation and evaluation of various pollution indexes showed no traces of anthropogenic pollution.

Acknowledgements

This study is financially supported by the project No 70.25-133 “Magnetic studies on the effect of climate change on soils from Hurd Peninsula, Livingston Island, Antarctica” funded by the National Centre for Polar Studies at Sofia University “St. Kliment Ohridski”.

References

Bonev, K., Dimov, D., Georgiev, N., 2015. Explanatory notes to the geological map of Hurd Peninsula, Livingston Island. In: *Bulgarian Antarctic Research. A synthesis.* Eds. Christo Pimpirev, Nesho Chipev. "St. Kl. Ohridski"University Press, Sofia, 2015, pp. 29-32.

Câmara, P.E.A.S., Valente, D.V., Sancho, L.G., 2020. Changes in the moss (Bryophyta) flora in the vicinity of the Spanish Juan Carlos I Station (Livingston island, Antarctica) over three decades. Polar Biology, https://doi.org/10.1007/s00300-020-02740-0

Chaparro, M.A.E., Lavornia, J.M., Chaparro, M.A.E., Sinito, A.M., 2013. Biomonitors of urban air pollution: Magnetic studies and SEM observations of corticolous foliose and microfoliose lichens and their suitability for magnetic monitoring. Environmental Pollution, 172, 61-69.

Culicov O. A., Yurukova L., Duliu O. G., Zinicovscaia I., 2017. Elemental content of mosses and lichens from Livingston Island (Antarctica) as determined by instrumental neutron activation analysis (INAA). Environ Sci Pollut Res. 24, 5717–5732.

Egli, R., 2004a. Characterization of Individual Rock Magnetic Components by Analysis of Remanence Curves, 1. Unmixing Natural Sediments. Studia Geophysica et Geodaetica 48, 391–446

Egli, R., 2004b. Characterization of individual rock magnetic components by analysis of remanence curves. 3. Bacterial magnetite and natural processes in lakes. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 29 (13–14), 869-884.

Hofman J., Maher B. A., Muxworthy A.R., Wuyts K., Castanheiro A., Samson R., 2017. Biomagnetic Monitoring of Atmospheric Pollution: A Review of Magnetic Signatures from Biological Sensors. Environ. Sci. Technol., 51, 12, 6648–6664.

Ganeva A. and Yurukova L., 2004. Data on species composition and background concentrations of some elements in moss samples from Livingston Island (Antarctica). Herzogia 17, 199-206.

Gómez, R.Q., Chaparro, M.A., Chaparro, M.A. et al. 2021. Magnetic Biomonitoring Using Native Lichens: Spatial Distribution of Traffic-Derived Particles. Water Air Soil Pollut 232, 124. https://doi.org/10.1007/s11270-021-05047-w

Jin Sung, L., Lee, H. K., Hur, J.-S., Andreev, M., Hong S. G., 2008. Diversity of the Lichenized Fungi in King George Island, Antarctica, Revealed by Phylogenetic Analysis of Partial Large Subunit rDNA Sequences. J. Microbiol. Biotechnol., 18(6), 1016–1023.

Jordanova, N.V., Jordanova, D.V., Veneva, L., Yorova, K., Petrovsky, E., 2003. Magnetic response of soils and vegetation to heavy metal pollution - A case study. Environmental Science and Technology, 37(19), 4417-4424

Jordanova, D., Jordanova, N., Dimov, D., 2015. Palaeomagnetic and mineral magnetic studies on rock formations from Livingston Island, Antarctica. In: *Bulgarian Antarctic Research. A synthesis.* Eds. Christo Pimpirev, Nesho Chipev. "St. Kl. Ohridski"University Press, Sofia, 2015, pp. 208-220.

Jordanova, N., 2016. Magnetism of soils from the Antarctic Peninsula. In: *Soil Magnetism. Applications in pedology, environmental science and agriculture*. Academic Press, Elsevier, pp. 331-346.

Kruiver, P., Dekkers M., Heslop, D., 2001. Quantification of magnetic coercivity components by the analysis of acquisition curves of isothermal remanent magnetization. Earth and Planetary Science Letters 189, 269-276.

Maxbauer, D.P., Feinberg, J.M., & Fox, D.L., 2016. MAX UnMix: A web application for unmixing magnetic coercivity distributions. Computers & Geosciences, 95, 140-145.

Otero X.L., Fernández S., de Pablo Hernandez, M.A., Nizoli, E.C., Quesada A., 2013. Plant communities as a key factor in biogeochemical processes involving micronutrients (Fe, Mn, Co, and Cu) in Antarctic soils (Byers Peninsula, maritime Antarctica). Geoderma 195–196, 145–154.

Palacios D., Ruiz-Fernandez J., Oliva M., Andres N., Fernandez-Fernandez J., Schimmelpfennig, I., Leanni L., Gonzalez-Díaz B., ASTER Team, 2020. Timing of formation of neoglacial landforms in the South Shetland Islands (Antarctic Peninsula): Regional and global implications.

Pimpirev, Ch., 2015. Bulgarian Antarctic Research – A synthesis. Editorial Notes. In: *Bulgarian Antarctic Research. A synthesis.* Eds. Christo Pimpirev, Nesho Chipev. "St. Kl. Ohridski"University Press, Sofia, 2015.

Pimpirev, Ch., Ivanov, M., Stoykova, K., 2015. Lithostratigraphy of the Miers Bluff formation, Hurd Peninsula, Livingston Island. In: *Bulgarian Antarctic Research. A synthesis.* Eds. Christo Pimpirev, Nesho Chipev. "St. Kl. Ohridski"University Press, Sofia, 2015, pp. 33-39.

Sancho, L., de los Ríos, A., Pintado A., Colesie C., Raggio, J., Ascaso, C., Green, A., 2020. Himantormia lugubris, an Antarctic endemic on the edge of the lichen symbiosis. Symbiosis, https://doi.org/10.1007/s13199-020-00723-7

Seymour F. A., Crittenden P. D., Wirtz N., Øvstedal D. O., Dyer P. S., Lumbsch H. T., 2007. Phylogenetic and morphological analysis of Antarctic lichen forming Usnea species in the group Neuropogon. Antarctic Science 19 (1), 71–82.

Søhting, U., Øvstedal D., Sancho L.G., 2004. The lichens of Hurd Peninsula, Livingston Island, South Shetlands, Antarctica. Contributions to Lichenology. Festschrift in Honour ofHannes Hertel. P. Dobbeler & G. Rambold (eds): Bibliotheca Lichenologica 88: 607-658. J Cramer in der Gebruder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin' Stuttgart, 2004.

Thompson, R. and Oldfield F., 1986. Environmental Magnetism, Allen & Unwin, Winchester, MA

Victoria, F. C., Albuquerque, M. P., Pereira A. B., 2006. Lichen-Moss associations in plant communities of the Southwest Admiralty Bay, King George Island, Antarctica. Neotropical Biology and Conservation, 1(2), 84-89.

Vuković, G., Urošević, M.A., Tomašević, M., Samson, R., Popović, A. 2015. Biomagnetic monitoring of urban air pollution using moss bags (Sphagnum girgensohnii). Ecological Indicators, 52, 40-47

Wolterbeek, B., 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. Environmental Pollution 120, 11–21.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N8

Archaeoseismology in Bulgaria – review and developments

Boyko Ranguelov[1], Orlin Dimitrov [2]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia, Bulgaria; email – branguelov@gmail.com
[2] Fridtjof Nansen Institut of oceanology -BAS; Varna, Bulgaria; email – ovdimitrov@gmail.com

Key words: Archaeoseismology, Bulgaria, development, review

Abstract
The archaeoseismology is a new emerging discipline in Bulgaria during the last decades. Its subject is to study the seismic effects generated by earthquakes to the archaeology artefacts – monuments, buildings, churches, bastions, etc., as well as to the settlements and ancient cities and villages, port facilities, etc. As a country with a lot of existing archaeology objects, located in areas influenced by local and regional seismic events, many effects is possible to be detected by specialists. The paper deals with the observed and studied seismic effects to single or multiple ancient facilities. New results established during the last-years Bulgarian-Russian field expeditions together with the high professionals in the field of archaeoseismology revealed many new and unexpected data and information about ancient seismic events and their parameters – predominantly time of occurrence, magnitude and less accurate location of their sources. Combining the information from different disciplines like archaeology, geodynamics, neotectonics and seismology a lot of useful data was extracted thus providing new input about the seismic zoning of Bulgaria.

Археосеизмологията в България – обзор и развитие

Бойко Рангелов[1], Орлин Димитров [2]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София, България; email – branguelov@gmail.com
[2] Институт по океанология "Фритьоф Нансен"-БАН; Варна, България; email – ovdimitrov@gmail.com

Ключови думи: Археосеизмология, България, развитие, обзор

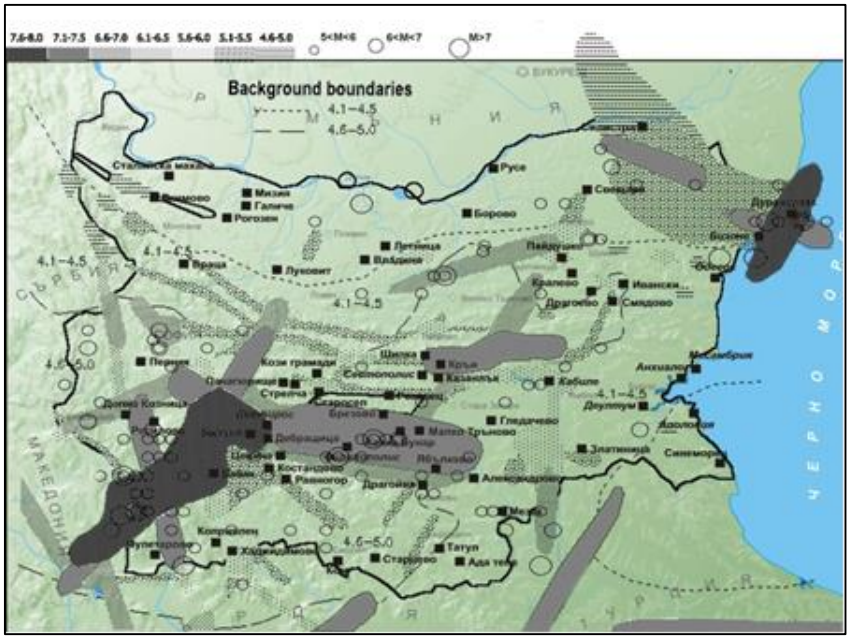
Резюме
Археосеизмологията е нова дисциплина за България, която се развива през последните десетилетия. Нейна основна цел е изучаването на земетръсни ефекти върху археологически обекти – паметници, сгради и съоръжения, църкви и обредни храмове, крепости и др., както и на селища, древни градове и села, пристанищни съоръжения и др. Като страна с богато археологическо наследство разположено в области попадали под въздействието на локални и регионални сеизмични източници, може да се очаква, че запазени сеизмични ефекти ще бъдат открити от специалистите-археосеизмолози. Предлаганият обзор се занимава с наблюдаване сеизмични ефекти върху единични или многопланови археологични обекти. Много нова информация е получена в резултат на съвместните Българо-Руски полеви експедиции проведени с висококласни специалисти от Русия и България. Те разкриват нови и неочаквани данни за древни земетресения и позволяват определянето на основни техни параметри – време на реализация, сила, и с по-малка точност – местоположение на сеизмичния източник. Като се комбинира информацията от множество дисциплини от науките за Земята – археология, геодинамика, неотектоника и сеизмология се получават данни, които могат да послужат за нова оценка на сеизмичната опасност в страната.

Въведение

Археосеизмологията е нова научна дисциплина, занимаваща се с изучаването на сеизмичните (често и на други геодинамични) явления и процеси върху археологичните паметници, както по време на тяхното съществуване, така и след „погребването" им под пластове натрупана впоследствие почва и всичко това е станало през историческите времена на съществуване на човечеството, след създаването на писменост – т.е. историческия период на антропоцена. Обект на изследванията, са въздействията върху останки от селища, отделни сгради и съоръжения и отделни артефакти. Палеосеизмологията (друг клон от групата на науката сеизмология) обхваща доста по-дълги периоди от време, както от холоцена, така и преди него. Понякога, палеосеизмологични реконструкции достигат хиляди и по-

рядко милиони години. Важно е да се отбележи, че огромна част от известните каталози на земетресенията по света, се базират на историчната сеизмология – т.е. писмени паметници за въздействията от древни земетресения върху сега съществуващи или вече изоставени и разрушени селища от историята на човечеството. Често тези сведения се съпоставят с наблюденията от археосеизмологията и палеосеизмологията, като значително подпомагат датирането (хронологизацията) за известни или неизвестни земетръсни събития. Инструменталната сеизмология датира от около един век, поради което нейният обсег за силни земетресения е силно ограничен.
За провеждане на археосеизмологичните изследвания, предварително се очертават зони и райони, където могат да се очакват сеизмични въздействия върху археологически паметници и артефакти (Б. Рангелов, 2011).

Археосеизмологията в България - обзор



Фигура 1. Обединена карта на регистрираните земетресения (кръгчета) по сеизмични зони (щрихованите) и карта на археологическите паметници в България (черни квадрати)

На показаната карта, ясно се очертават рисковите сеизмични зони и някои исторически и архитектурни паметници (Фиг. 1). Не би трябвало обаче, да се очакват евентуални сеизмични разрушителни въздействия, които да се срещат само в най-застрашените зони, тъй като деструктивизмът на самите сеизмични вълни може да се простира далеч от епицентъра. На общия фон на земетръсните огнища, тези обекти, изглеждат най-вероятни за локализиране на съществуваща сеизмична дейност, способна да въздейства върху различните археологически и исторически обекти.

Експедиции и резултати

(Халколитен солодобивен комплекс – Провадия)

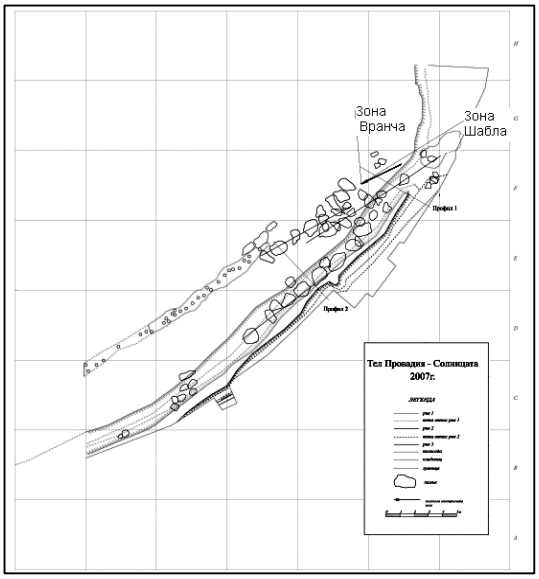
В този обект се наблюдават трите представени на това място хронологически пласта - късен неолит (5400-5000 г. пр. Хр.), среден халколит (4600-4500 г. пр. Хр.) с началото на късния халколит (4500-4400 г. пр. Хр.) и римска епоха (I-IV в.). Установява се производствен солодобивен комплекс с голяма площ [1]. След като солта, която се е смятала за богатство, то е трябвало да бъде защитавано, поради което са изградени високи бойни кули – бастиони, от двете страни на портата – вход към очевидно просперираща селище (Б. Рангелов, 2011). Реконструкцията е направена въз основа на обема на изкопаните едри и по-дребни камъни и положението на основата. Няма следи от спойващи вещества между тях. Вижда се и част от плетената от дървени клони и измазана с глина повърхност на отбранителната стена. Тези отбранителни кули са били построени от гигантски (приблизителни

размери 0,7х0,7х1м), подредени, неспоени камъни и впоследствие разрушени. Тук археологията и сеизмологията се пресичат. Оказва се, че единствената причина за разрушаването на тези съоръжения, може да е само силно земетресение. За изследване на причините за срутените бастиони са проведени археосеизмологични изследвания за уточняване на източника и силата на явлението, довело до разрушаването им край солницата в Провадия. Основни източници на силни сеизмични въздействия в района на Провадия са огнищата на земетресения, разположени в районите на сеизмична зона Вранча (Румъния) и зона Шабла-Калиакра, които са потенциалните кандидати за разрушенията в Провадия.



Фигура 2. Снимка на разкопките на древното селище Провадия. Виждат се основите на бастионите и портата, както и големите срутени камъни

Историческите сведения за сеизмичната активност на огнище Вранча (Румъния) са описвани многократно. Характерно за това огнище са силните и дълбоки (между 90 и 150 км т.нар. междинофокусни) земетресения. По-известните земетресения от сеизмично огнище Вранча са тези от 1940 г. с магнитуд (М7.4) и от 1977 г.(М7.2). И двете земетресения са предизвикали интензивност VII степен по скалата на Медведев-Шпонхоер-Карник (МШК) в района на Провадия, изразяваща се в паднали комини и леки пукнатини в мазилките на някои по-паянтови сгради. Епицентрите на тези земетресения се намират на около 300 км на север от археологическия обект Провадия - Солницата в ъглов сектор от около 5^0-10^0.



Фигура 3. Схема с основните срутвания на едри каменни блокове от бастионите в Провадия-Солницата. Означени са посоките на сеизмичните огнища (Вранча и Шабла) както и интерпретацията за посоката на максималната сеизмична сила, действала от посока североизток.

Историческите данни за сеизмичната активност на земетръсното огнище Шабла-Калиакра идват главно от писмени източници. Има данни за няколко земетресения с магнитуд, превишаващ 6.5 (по скалата на Рихтер) – 3 в. пр.Хр., 543, 1444,1832, 1869 и 1901г. (B. Ranguelov, A. Bojkova, 2008).
Характерно за огнище Шабла-Калиакра е, че е плитко и се активизира нерегулярно, но генерира изключително силни земетресения. Очакваният максимален магнитуд на земетресения, генерирани от това огнище, може да достигне 8.0.
Основен обект на изследванията са срутените много големи (с размери между 1 и 0,5 $м^3$) камъни - елементи от двете фортификационни съоръжения (бастиони) от отбранителната система на селището от средния халколит (4600-4500 г. пр. Хр.). Наблюдаваните ефекти, дават основание да се приеме, че основната посока на сеизмичната сила е в сектор 50^0-65^0 спрямо географския север (Фиг. 3).
Анализът дава възможност да се предположи, че в периода на датировка на съоръженията (средата на V хил. пр. Хр.) в посочената сеизмична зона, се е случило сеизмично събитие с достатъчна сила (предполагаем магнитуд ~7-7.5-8.0), което е предизвикало интензитет в района на Провадия-Солницата, превишаващ VII степен - причина за разрушаване на двата каменни бастиона с височина над 3 м. Това предположение изглежда напълно доказано. Ако е така, то става дума за първото документирано силно земетресение в историята на Европа от тази епоха (около 4550 години преди новата ера) – с определен източник, приблизително местоположение и сила.

(Храм на Кибела – Балчик)

Много столетия след това – някъде в средата на VI в. сл. Хр., това сеизмично огнище (Шабла-Калиакра) отново дава сигнал за коварството си. Има данни, че селището при Балчик (древния Дионисополис) се е преместило на високо. Балчик има нещастна съдба, поради това, че се намира в един много активен свлачищен район и местенето на високо, не му помага особено. Освен от силния трус през III в. пр. Хр., Балчик преживява още един апокалипсис – през средата на VI в. За него съдим от археологическите разкопки, довели до сензационното откриване на най-запазения храм на Кибела (майката на боговете) – открит през 2007 г. при случайни изкопни работи за модерен строеж (Фиг. 4)

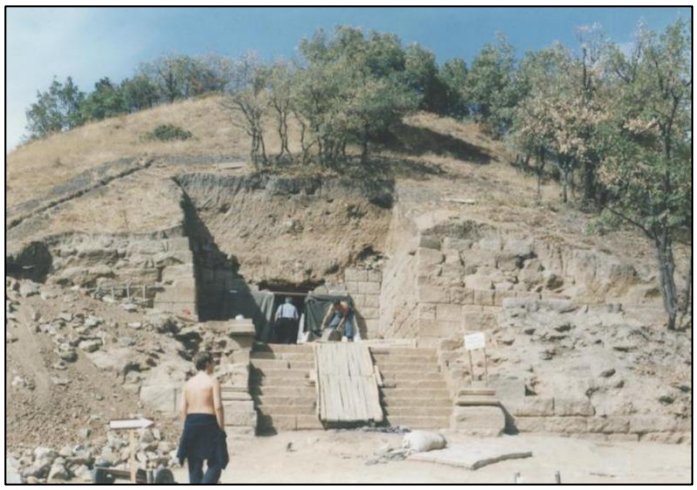


Фигура 4. Храмът на Кибела – след разкопаването му.

В този случай земните пластове са запазили много повече информация от всеки друг път. В тях, като че ли може да се проследи цялата история на трагично погребания храм – от неговия възход и развитие (действал е повече от 8 века - от III в. пр.Хр. до V-VI век от новата ера) до неговия трагичен край. Следите дават възможност за сигурно датиране и възстановка на това, какво се е случило преди много векове (A. Korzhenkov, E. Mazor, 1999).

(Тракийски култов комплекс „Четиньовата могила" - Старосел)

Тракийският култов "храм" е открит и разкопан от Георги Китов през 2000 г (Фиг. 5). Той е най-големият открит досега тракийски царски комплекс с мавзолей. Гробницата-хероон, има внушителната ограда (крепида) от каменни блокове, парадно стълбище с коридор и култова площадка. Входът е очертан от плочи с пластична и цветна украса.
Светилището в Старосел е изпълнявало ритуална функция – във вътрешната камера са се изпълнявали тайни орфически ритуали. Този храм е най-величественият, намерен до сега в Тракия. Вероятно той е бил изграден от богат владетел, някъде около V в. преди Христос. Покривът е срутен, фасадата му е била засипана и добре затрупана, така че да не личи, че някога е имало стълбище, коридор и храм.



Фигура 5. Тракийски култов комплекс „Четиньова могила", Старосел.

Археологическото съоръжение е разположено под земята и след запълването му, станало в древността, заедно с могилата представлява монолитно цяло. Поради куполовидната си форма, могилата висока към 25 m е подложена на усилени земетръсни въздействия, заради повишаващото се земното ускорение към средата на височината й. При разкриването на камерите са установени видими деформации, които могат да се припишат на земетръсно въздействие. По една от стените и до входа се наблюдават пукнатини, които могат да бъдат породени от слабост на конструкцията или от сеизмични фактори. От друга страна по покривната конструкция има пукнатина с дясно-отседно хоризонтално разместване с амплитуда 1- 1,5 cm, което се смята за сигурна индикация за динамично натоварване в следствие на сеизмично въздействие (Фиг.6). Хоризонтални отмествания са отбелязани и на още няколко места, главно по вертикалните ръбове на конструкцията (Zl. Paneva, B. Ranguelov, 2011)

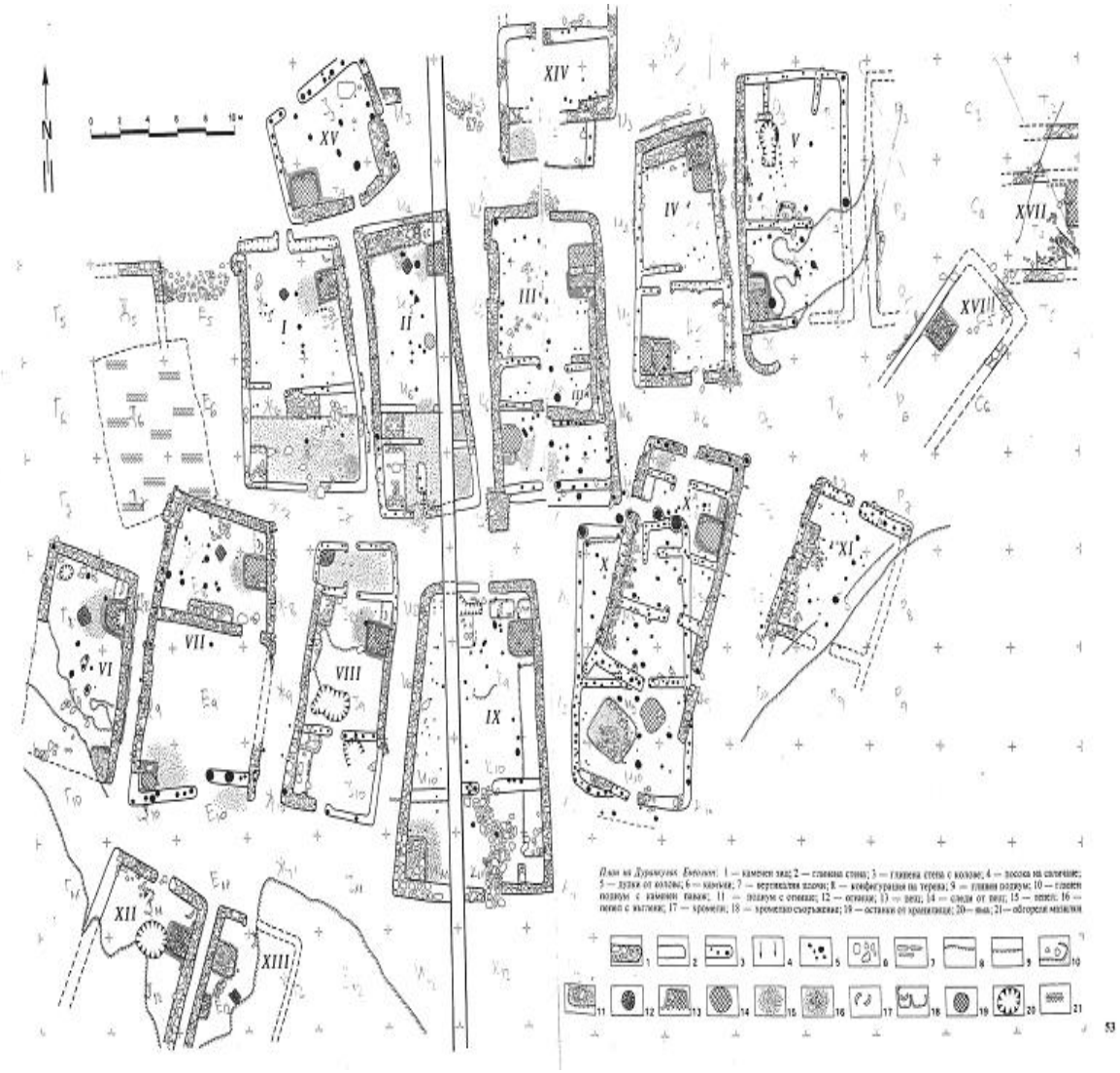


Фигура 6. Напуквания и хоризонтални отмествания по тавана на храма от сеизмични въздействия

Възможно е, това сеизмично въздействие, да е спомогнало за разрушаването на купола на кръглата камера и за запълването й с каменни блокове и почва. Стратиграфският анализ на палеосеизмичните разкопки проведени преди години, установява четири етапа, което е в съгласие с многократната проява на сеизмично въздействие, без да се отрича евентуално първоначално умишлено разрушаване на съоръжението още в древността (Zl. Paneva, B. Ranguelov, 2011).

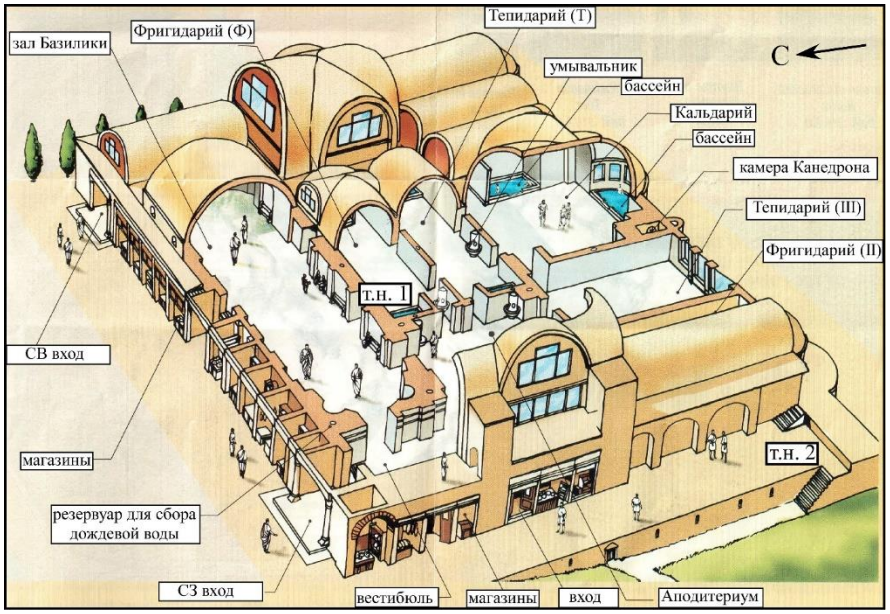
Нови изследвания и развитие на археосеизмологията

Новите изследвания по археосеизмология са фокусирани върху обекти по Черноморското крайбрежие на България и Русия. Проведени са археосеизмологични изследвания на цяла поредица от древни поселения. Обекти разположени в Анапа, Дуранкулак, Камен бряг, Калиакра, Кастрици, Варна и др., са обследвани от българо-руски експедиции, установили множество ефекти от древни земетресения върху сгради и съоръжение покриващи огромен интервал от време (до 6-7 хиляди години - B. Ranguelov et al, 2019). Започвайки от най-северните части на крайбрежието и от най-древните обекти (напр. Дуранкулак – фиг.5) и преминавайки на юг, експедициите осъществени през 2018 и 2019 г. дават нови данни и сведения за сеизмични ефекти от енеолита, през римската епоха (термите във Варна – фиг.6) и Средновековието (Джанавара – Варна) чак до наши дни.



Фигура 5. Факсимиле от работната скица на разкопките при Дуранкулак, 1984 г. Ясно личат систематичните деформации и разрушения върху сгради и съоръжения.

Древните обекти на Дуранкулак са запечатили ефекти от древни трусове от енеолита (4-5 хил. преди Христа), през времето на траките (13-12 век преди Христа) и гръцката колонизация и класическия елинизъм (10-4 век пр. Хр.) до ранното средновековие по времето на българските завоевания (5-6 до 9-10 в сл.Хр). Детайлните описания и ново датираните ефекти от сеизмични въздействия са изучени и описани подробно в (Korjenkov et al, 2020). Важен факт са потвърдителните данни за силно земетресение (4.5 хил. пр. Хр.) документирано и изучено на територията на Солницата-Провадия.



Фигура 6. Схема на римски терми – Варна (т.н.1 и т.н.2 са точките на наблюдение, установили сеизмични ефекти върху основните структури на термите).

Проучванията на римските терми показват ефекти от сеизмични събития станали 3-1 в. пр. Хр. Следващите по хронология изследвания са насочени към епископалната базилика на Варна, където се наблюдават сеизмични ефекти от 5-6 в. сл. Хр. Това е време на известни силни земетресения в района достигащи по съвременни оценки магнитуд 7-7.5. Наблюдавани са срутвания, усуквания на стени, завъртания на постаменти и други систематични сеизмогенни деформации.



Фигура 7. Систематични отместванията на фундаменти в епископалната Базилика на Варна.

Детайлно описание на изследванията и получените резултати са представени в (Минчев и др., 2020). Важно е да се отбележи, че всички изследвания са извършени, а получените резултати са продукт на съвместните Българо-Руски експедиции осъществени с участието на високо класни специалисти по археосеизмология. Съществен нов момент е, че се търсят не само преки ефекти от сеизмичните въздействия отразени в един обект (както при по-предишните изследвания), но и систематически масови деформации, които позволяват пеленгация на действащите сили и извършване на количествени оценки на размера на тези сили, което е в пряка връзка с наблюдаваните сеизмични интензивности и

въздействия върху сгради и съоръжения по онова време. Тази методология позволи идентификацията на сеизмични събития неизвестни до момента. Най-често това са афтершокове на силните земетресения документирани в сеизмичните каталози, но добавяли своите ефекти върху вече повредените структури. Основен източник на силните сеизмични събития е сеизмично огнище Шабла-Калиакра, но се наблюдават и ефекти на въздействия идващи от други посоки. Това навежда на мисълта, че са необходими още изследвания по идентификация на разломни сеизмогенни структури в района на Мизийската платформа и абисалната и полуабисална част от Черноморското крайбрежие.

Заключение

Направеният обзор за използването на археосеизмологията в България, показва, че съществен се явява интегралният подход за прилагане на специфична методология, определяща сеизмичните въздействия върху древни археологически обекти. Това може до подпомогне извличането на допълнителна информация и обогатяване на знанията за минали исторически земетресения. Развитието на тази научна дисциплина изглежда перспективно, защото като страна богата на древни археологически паметници, археосеизмологията може да допринесе съществено при подобни проучвания. Това е от особена важност при сеизмичното райониране на страната, което осигурява норми прилагани понастоящем и осигуряващи надеждна антисеизмична защита на сгради и съоръжения.

Благодарности

Разработката е подкрепена от национална научна програма (ННП) „Опазване на околната среда и намаляване на риска от природни бедствия“, - Решение на МС № 577/17.08.2018 г. и фин. от МОН (Спор.№ ДО-230/06-12-2018). - Работни пакети (РП.I.10. и РП.I.4.3) и проект ДНТС/Русия 02/20 (27.06.2018)

Литература

Б. Рангелов, Неспокойната Земя, изд. БАН, 215pp, 2011.

B. Ranguelov, A. Bojkova, Archaeoseismology in Bulgaria, Proc. Conf. Geoarchaeology and Archaelomineralogy., Sofia, Bulgaria, pp.341-346, 2008.

B. Ranguelov, E. Mircheva, I. Lazarenko, R. Encheva, The archaeological site – possible evidence about multihazard ancient events, Proc. Conf. Geoarchaeology and Archaelomineralogy., Sofia, Bulgaria, pp. 347-352, 2008.

A. Korzhenkov, E. Mazor, Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs; Sci. and New Technol. **N 1**. pp. 62–74, 1999.

Zl. Paneva B., Ranguelov., Archaeoseismology and reconstruction of the ancient environment in Bulgaria., Proc. 3rd EMUNI student research multi-conference. pp. 82-89, 2011.

B. Ranguelov, O. Dimitrov, A. Korzhenkov, E. Rogozhin, A. Ovsyuchenko, Archaeoseismological Studies – Bulgaria-Russia Cooperation . Proc. XV Intl. Conf. SES2019, pp.205 – 208, 2019.

A. M. Korzhenkov, A. N. Ovsyuchenko, O. V. Dimitrov, T. Dimov, A. S. Larkov, B. Ranguelov, E. A. Rogozhin, and S. N. Rodinaa, Traces of Strong Eneolithic and Medieval Earthquakes Hitting the Durankulak Archaeological Settlement in Northeastern Bulgaria., Journal of Volcanology and Seismology, Vol. 14, No. 4, pp. 262–282, 2020.

А. Минчев, А.М. Корженков, А.Н. Овсюченко, О.В. Димитров, А.С. Ларьков, Б.К. Рангелов, Е.А. Рогожин, Н.В. Андреева., Деформации в епископской базилике г. Варна – свидетельства сильных исторических землетрясении в Северо-Восточной Болгарии. ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И БИОСФЕРА. Т. 19, № 3. с. 16–32, 2020.

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.

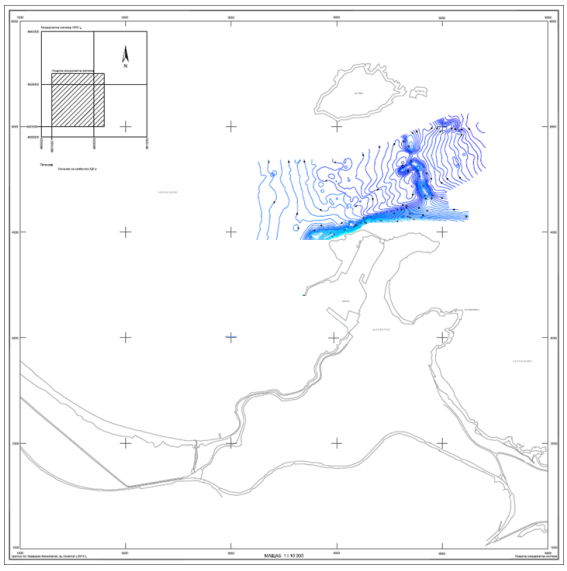
Хронология на проведени теренни изследвания и получени резултати взети предвид в настоящата разработка.

1989-1995 г.

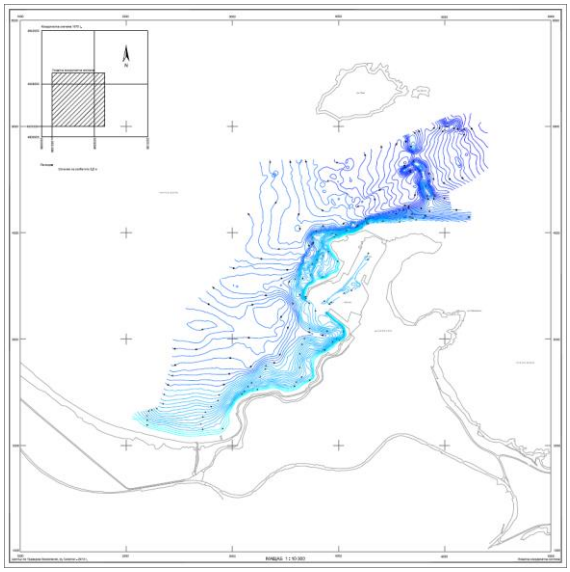
Лаборатория Археометрия, Институт по Тракология БАН, Център за подводна археология Созопол, Институт по Океанология БАН – Експедиция „Василико“ 1991 г. Батиметрично измерване с еднолъчев ехолот и сканиране със странично сканиращ сонар в района на канала между о. Св. Иван и Созопол. Фиг.5.а.

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“



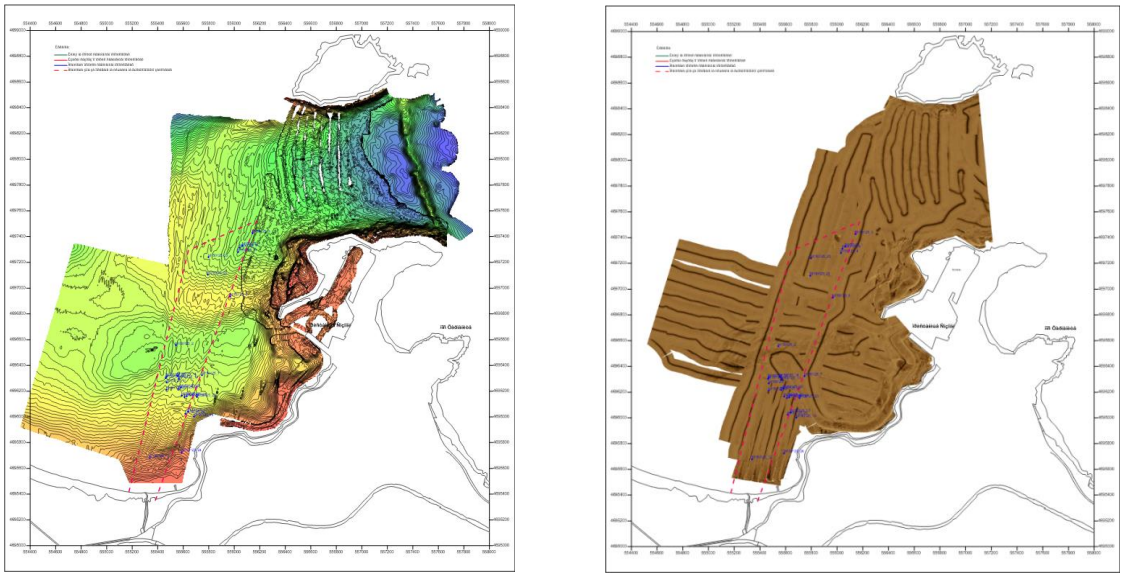
Фигура 5.б. ЦПА 2013 г.

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.

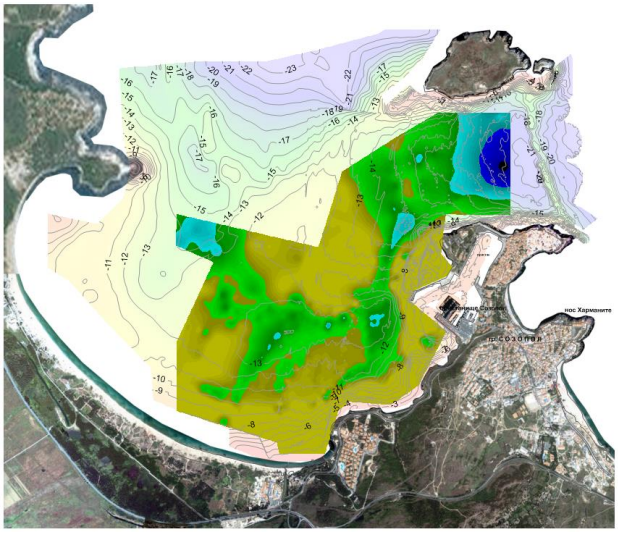
Основно са обработвани получените данни от предходните години и спорадично са направени кратки допълнителни измервания с поддънен профилограф и странично сканиращ сонар с цел сгъстяване на придобитите в геоложки аспект данни в зоната о. Св. Кирик – н. Хрисосотира.

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.

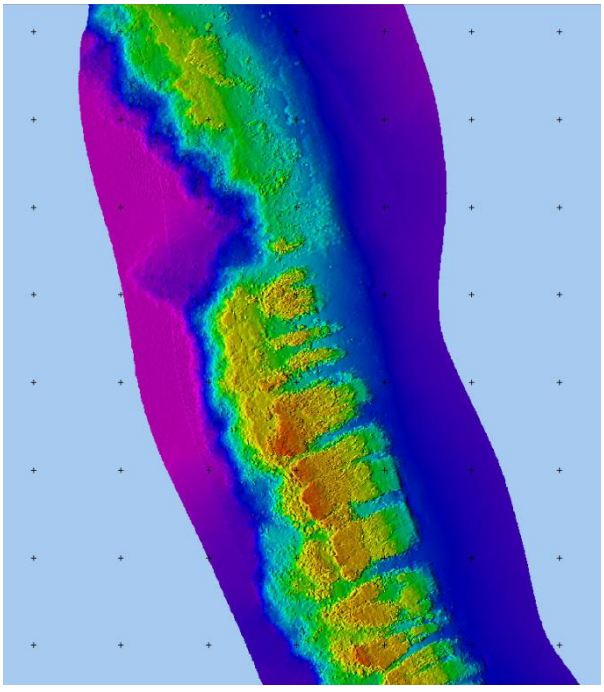
2017 година

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.

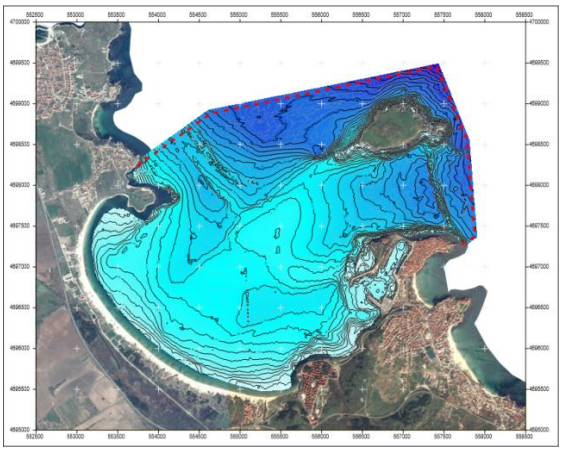
Всички основни придобити и обработени информации са класифицирани в няколко основни бази данни по методи и тип на информация, удобни за използване във всяка една стандартна GIS среда.

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.

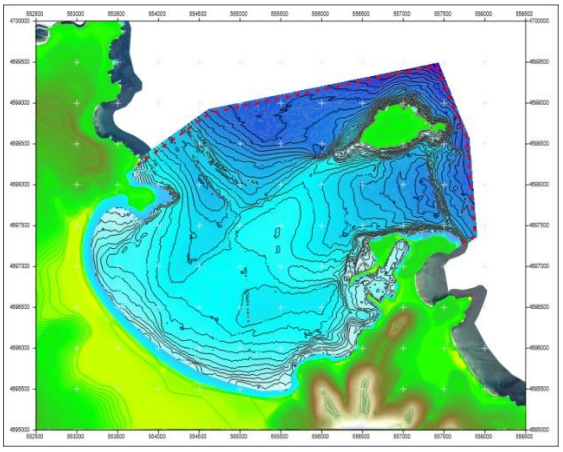
В процеса на работа са създадени към момента следните материали и модели:

- 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.

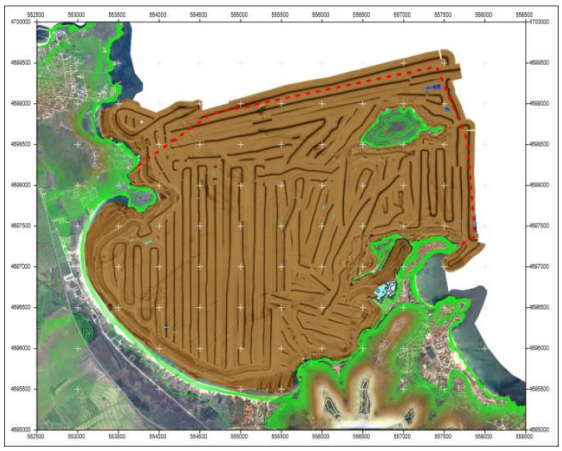


а) Детайлен батиметричен теренен модел

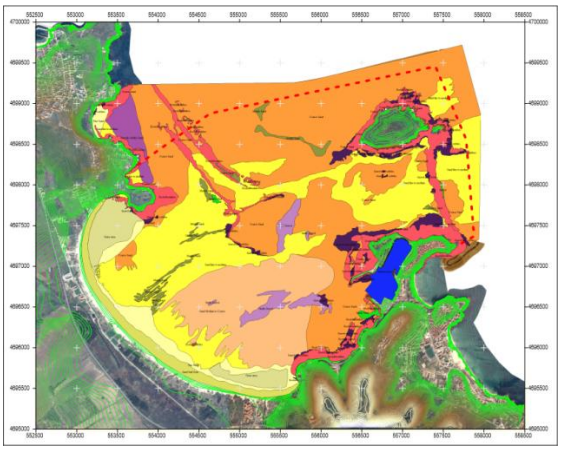
-



б) Детайлна батиметрия и теренен модел на района



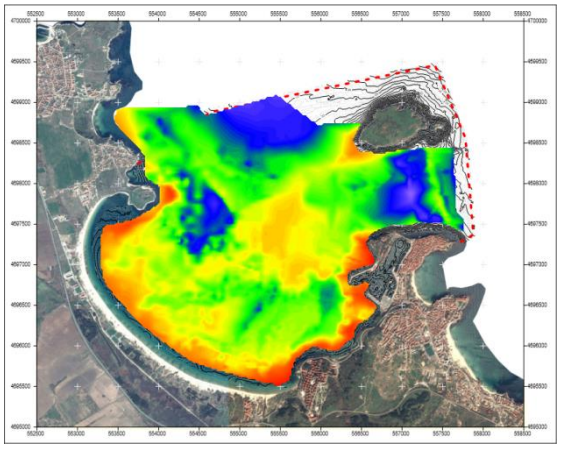
в) Мозайка странично сканиращ сонар



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:

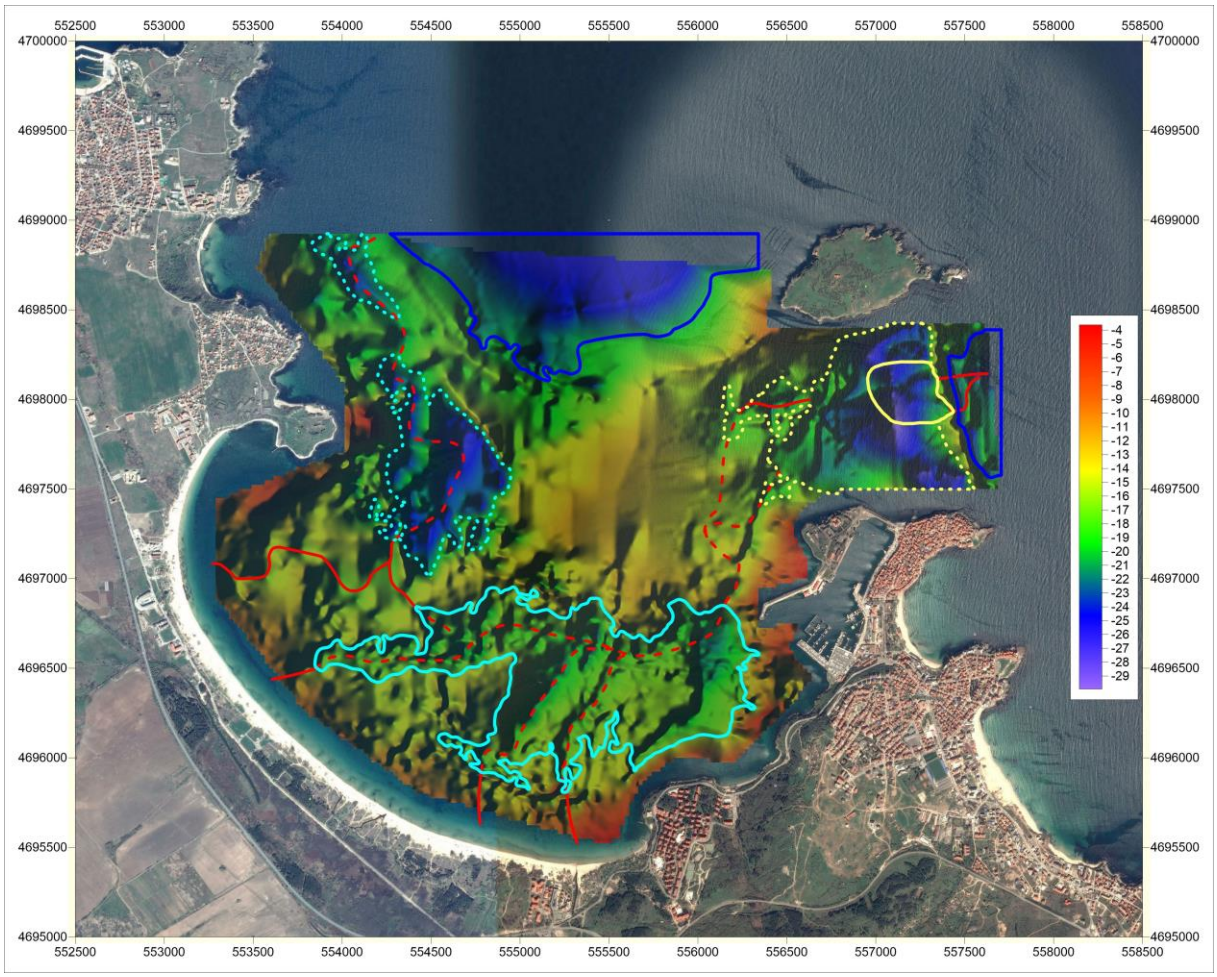
- В разреза на района пред плажната ивица на къмпинг „Градина“ - „Златна рибка“ се идентифицират 4 погребани речни дерета считано от запад на изток. Дали те са в следствие една река или различни потоци трудно може да се определи на база наличните данни, но в профилите най-близко до брега отчетливо се 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:

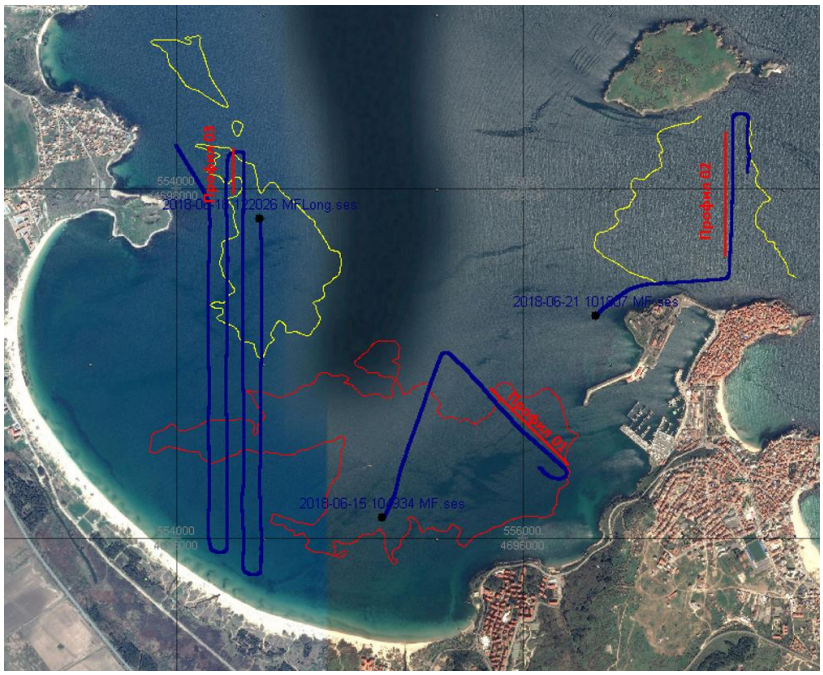
  А) В централната зона маркирани със светло син цвят, Фиг. 10 ясно се наблюдават зони с издържана седиментна слоистост вероятно езерен тип отлагания без наличие на бързо течащи води, Фиг. 11а. Характерното за тази зона е, че най-големи дълбочини седимента постига в най-източните части на района в близост 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.

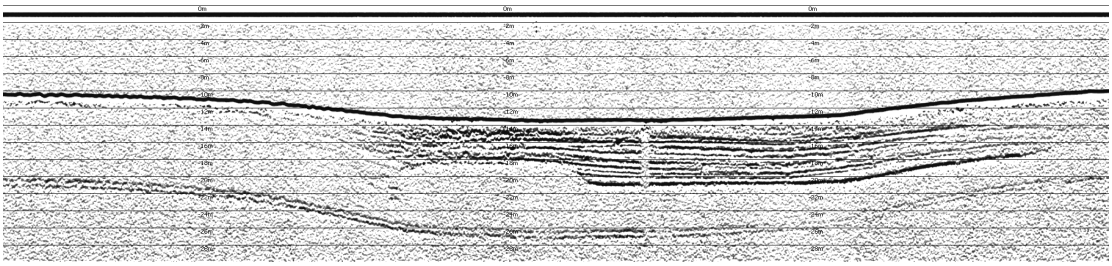
Б) За зоната на пролива о. Св. Иван – Созопол в профилите се наблюдава масивна издържана слоистост на относително дебели пластове, които затъват към центъра на пролива и само в средата – най-ниската точка на пролива се наблюдава седиментация, която по-скоро може да се оприличи на свлечен и не структуриран 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.

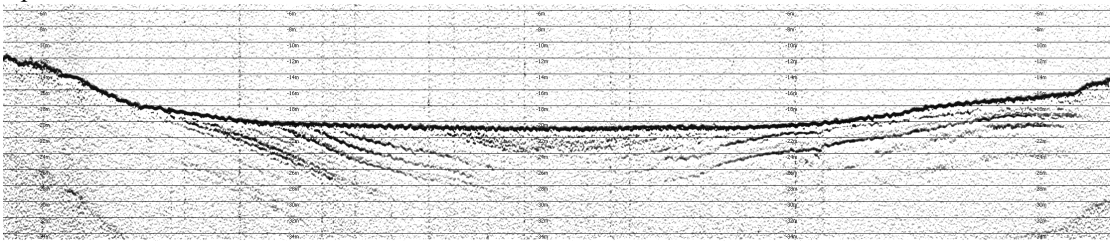


Фиг. 11. Разположени на профилите и трите основни зони с различен структурен тип седиментация отделени в профилограмите.

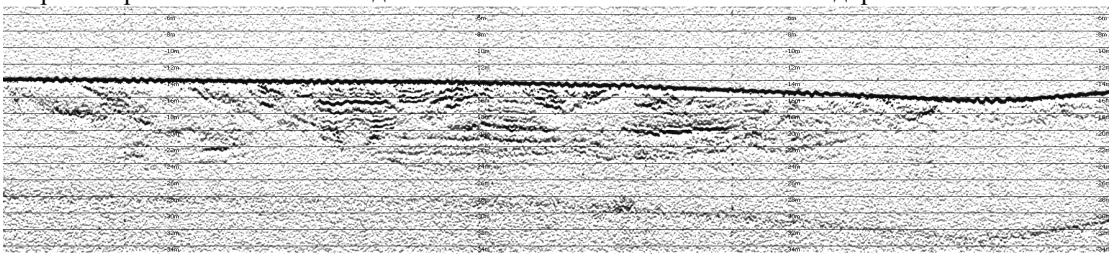
Фиг. 11 а). Профил 01 – залива пред входа на пристанище Созопол. Добре изразена и издържана слоиста структура на седиментните отлагания.



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.

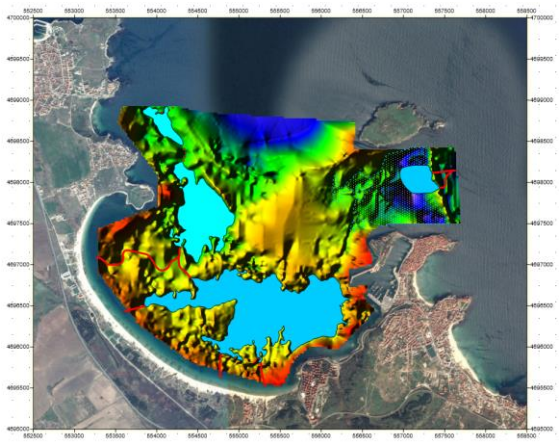
Хронологически погледнат целия процес на заливане е протекъл приблизително както е описан визуално в последователността от серията ключови графики на Фиг. 12. Обвързването към времето, без да претендирам за абсолютна точност, и като си позволявам известна спекулация, може да бъде с използваната от проф. 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!

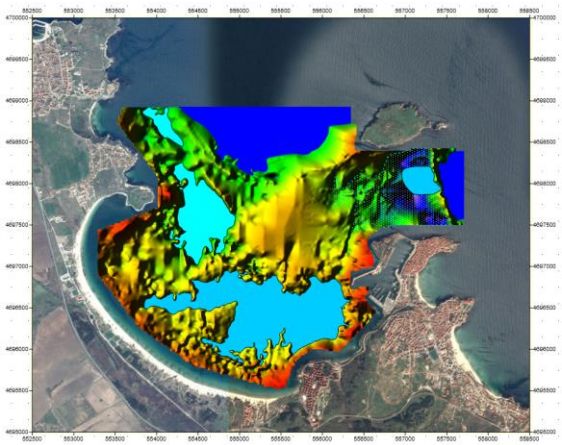
Дали така изказаната хипотеза напълно ще бъде потвърдена, ще трябва да се коригира или ще се наложи да бъде отхвърлена в голяма степен зависи от нуждата да бъдат направени ядкови сондажи изработки в подходящи за целта места и да бъдат анализирани изваденитe материали. Надяваме се това скоро да се случи.

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

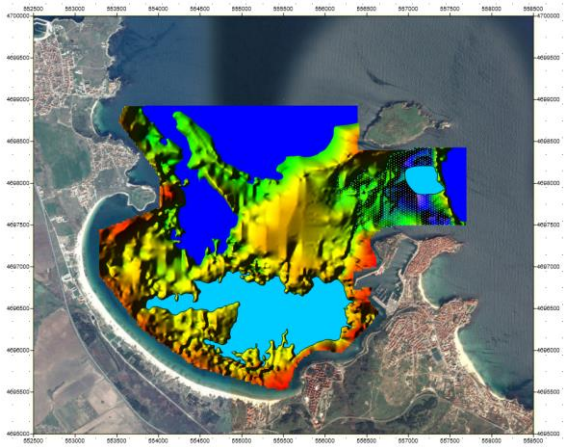
А). -40.00 м. / 10200 г. приблизително



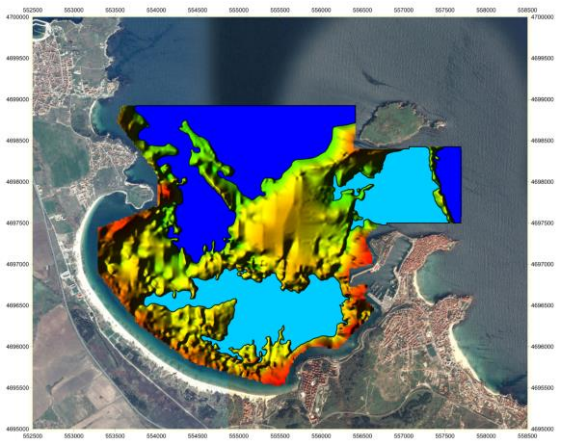
Б). -20.25 м. / 6900 г. приблизително



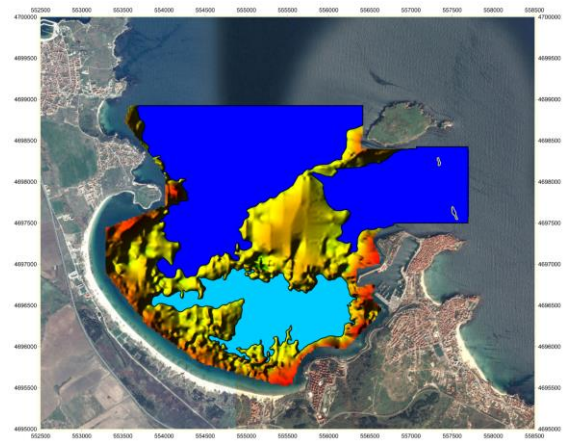
В). -19.25 м. / 6700 г. приблизително



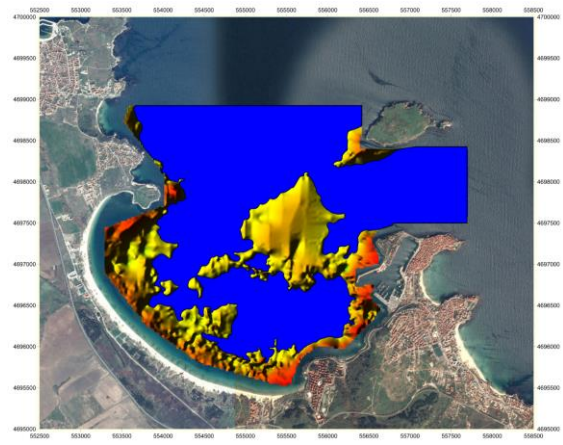
Г). -18.00 м. / 6400 г. приблизително



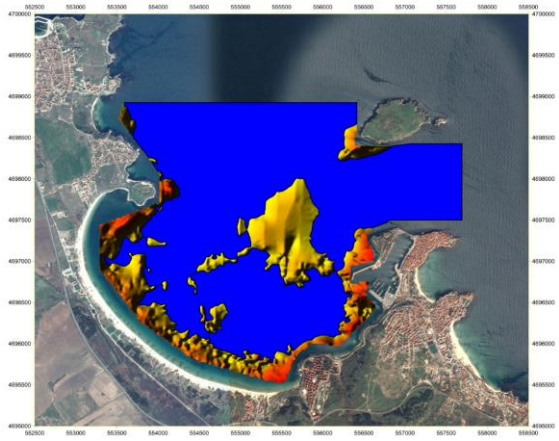
Д). -15.25 м. / 5800 г. приблизително



Е). -14.50 м. / 5600 г. приблизително

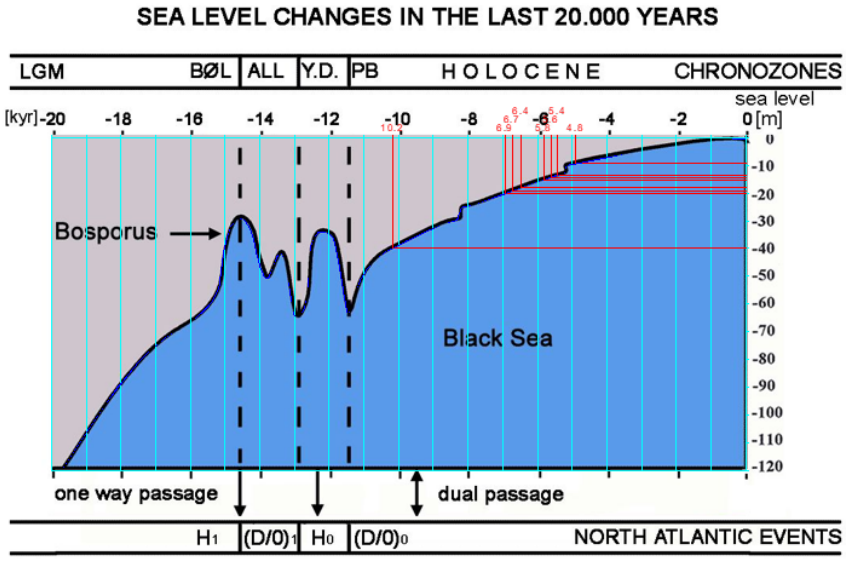


Ж). -13.75 м. / 5400 г. приблизително



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.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N10

At the base of Sveshtari tumuli and the use of magnetic survey for the study of circumtumular areas

Petar Zidarov[1]

[1]Eberhard- Karls Universität Tübingen, Institut für Ur- und Frühgeschichte und Archäologie des Mittelalters;
Address: 3a Vitoshki ezera str., 1434 Sofia, Bulgaria, e-mail: petar.zidarov@gmail.com

Key words: magnetometry, archaeology, tumuli, circumtumular features

Abstract
The application of geophysical methods to the systematic study of the tumuli near the village Sveshtari in northeastern Bulgaria spans already five decades of history. So far, the main focus of the field studies was concentrated on the tumular embankments which were expected to cover various types of tombs and the most favoured method was the vertical electric sounding. Recent archaeological excavations have revealed extensive circumtumular dug-out features enclosing one tumulus in a manner comparable to better known ancient sanctuaries from France referred to as Celtic. As no comparable feature has been excavated in Bulgaria so far, it is often presented as a ritual monument unique on the Balkans. Closer examination of some magnetic plans of other circumtumular areas in the same necropolis and two other sites in Bulgaria suggest, however, that it is likely they were more popular in fact. Therefore, more extensive use of the magnetic method for the study of the areas surrounding the tumuli is strongly advised.

В подножието на Свещарските могили или за ползите от магнитният метод в проучването на околомогилните пространства

Петър Зидаров

[1] Университет Тюбинген, Институт по праистория, ранна история и средновековна археология;
Адрес за контакт: ул. Витошки езера 3а, София 1434; e-mail: petar.zidarov@gmail.com

Ключови думи: магнитометрия, археология, могили, околомогилни структури

Резюме
Приложението на геофизичните методи за систематичното проучване на могилите край село Свещари в североизточна България има почти половинвековна история. До сега основният фокус на полевите изследвания е бил насочен към проучването на могилните насипи, които може да крият различни типове гробни съоръжения и основно се свързват с приложението на електро-съпротивителните методи. При археологическите разкопки от последните години обаче са документирани и вкопани структури със значителни обеми (ров), заграждащи една надгробна могила, по начин напомнящ за редица антични светилища във Франция, свързвани с келтите. Доколкото в България досега не са проучвани сравними паметници, този ров се представя като уникално за Балканите келтско светилище. Внимателният анализ на магнитни карти на други околомогилни пространства в същия некропол, както и от два други обекта в България подсказват, че тези структури може да се окажат много по-популярни, отколкото някой е допускал. Затова считам за напълно оправдано по-широкото приложение на магнитния метод и в околомогилните пространства.

Увод

Без преувеличение може да се каже, че източният могилен некропол в м. Сборяново край село Свещари е изиграл ключова роля в развитието на археологическата геофизика в България (Радков и др., 1978; Ставрев, Цанков, 2015). Районът е известен още като Стомогилие (Стефанов, 1999) и самото му име разкрива необходимостта от систематичен подход при неговото изучаване. Техническите предизвикателства, свързани с откриването на археологическите останки в земните насипи са предпоставили и нуждата от системен подход в теренното изследване. Геофизичните проучвания на могилите в района започват още през 1972 г. с магнитни профили на Гинина могила (устно сведение на един от участниците в изследването – Ст. Шанов) и с известни прекъсвания продължават до наши дни (Тонков, 2006; Цанков и др., 2015; Katevski, 1998). С тяхна помощ са открити изключително значими археологически паметници – от монументалната гробница с кариатидите в Гинина могила, обявена за международно значим паметник на ЮНЕСКО (Чичикова и

др., 2012; Stoyanov, 1998) до относително по-новите ефектни находки от екипа на Диана Гергова, сред които се открояват златните накити от Омуртагова могила, парадната колесница с два коня, погребани край могила 27, както и гробът с канделабър в могила 23 (Цанков и др., 2015; Гергова и др., 2016; Anastassov, 2019; Gergova, 2016). Въпреки изказаните хипотези за планомерно изграждане на могилите в конфигурация, която да отговаря на определени съзвездия от нощното небе (Гергова, 1996), досега изглежда не са правени систематични опити за търсене на структури в подмогилното пространство, които биха могли да свържат тези паметници в един цялостен комплекс. Разбира се, това донякъде може да се дължи, както на разбираемия интерес към атрактивни находки, откривани в гробните комплекси, така и на специфичната организация на археологическите проучвания, свързани с издаване на разрешения за проучване на конкретни паметници в рамките на ограничен период през една календарна година. Затова най-често границите на археологическите и геофизичните проучвания обикновено съвпадат и са ограничени до обозримия периметър на могилните насипи, които могат да варират в диаметър между 5-120 m, а във височина – 1.6-15 метра (Тонков 2013, 87).

Щастливо изключение прави магнитното картиране на могила номер 39, осъществено от Християн Цанков от Минно-геоложкия университет в София, включваща по-голяма част от нейното околомогилно пространство (Цанков, 2021). В резултат на това проучване са установени правоъгълни линейни аномални зони в периферията на могилата и на известно разстояние източно от нея, които са предмет на археологически проучвания на българо-швейцарски екип през последните пет години – 2016-2020 г. (Гергова и др., 2017, 2018, 2019, 2020; Anastassov et al., 2019). При археологическите проучвания, осъществени под ръководството на Диана Гергова и Йордан Атанасов е установено, че тези аномалии отговарят на ров с трапецовиден план, заграждащ могилата от всички страни (площ 840 м^2) и прекъснат само от южната страна за осигуряване на вход с широчина пет метра. Самият изкоп е със значителни размери като в разрез има форма на обърнат трапец с равно дъно, достигащ 6-10 метра широчина в горната си част и 1,90-2,20 метра широчина в долната си част при дълбочина 1-1,20м. В неговия запълнител са открити диагностични находки като оръжия, накити и керамика, които позволяват запълването му да бъде датирано около 200 г. пр. Хр. Липсата на проучени аналогични паметници от България и Балканите, както и някои аналогии на находките и формални паралели с други подобни съоръжения от Централна и Западна Европа, дават основание на проучвателите да интерпретират това съоръжение като уникално за Балканите келтско светилище (Гергова и др., 2020; Anastassov et al., 2019).

Приблизително по същото време, когато започна проучването на това интересно съоръжение, аз имах възможността да проведа магнитно картиране в подножието на други могили, както в северната част на същия некропол, така и западно от ранноелинистическия селищен център край Водната централа на Сборяново (Зидаров и др., 2017). Резултатите макар и съпоставими, останаха сравнително непопулярни за научната общност, поради това, че не бяха последвани от археологически разкопки. Тяхното значение обаче става все по-ясно в контекста на гореспоменатите проучвания и затова бих искал да открои още веднъж тяхното значение.



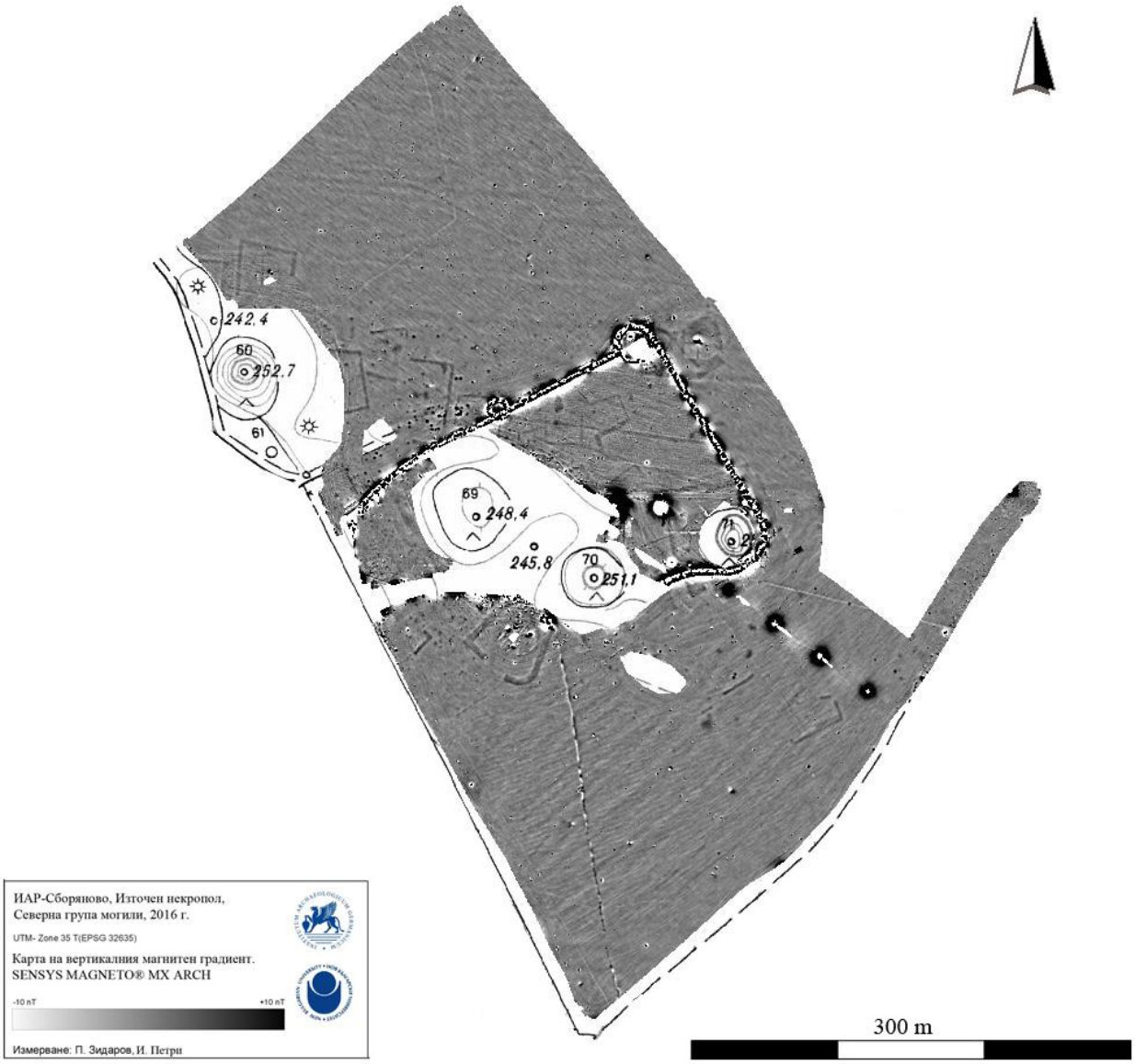
Обр. 1. Флуксгейт градиентометър SENSYS MAGNETO® MX ARCH в процес на работа (© П. Зидаров).

Методика на проучването

Магнитното картиране в източния некропол е извършено с 16-канален флуксгейт магнитометър, модел SENSYS MAGNETO® MX ARCH (Обр. 1), а в западния – с цезиев магнитометър G-858 с два сензора. В първия случай измерванията са локализирани с високо точен диференциален ГПС, а във втория е изградена локална мрежа, съобразена с топографията на терена.

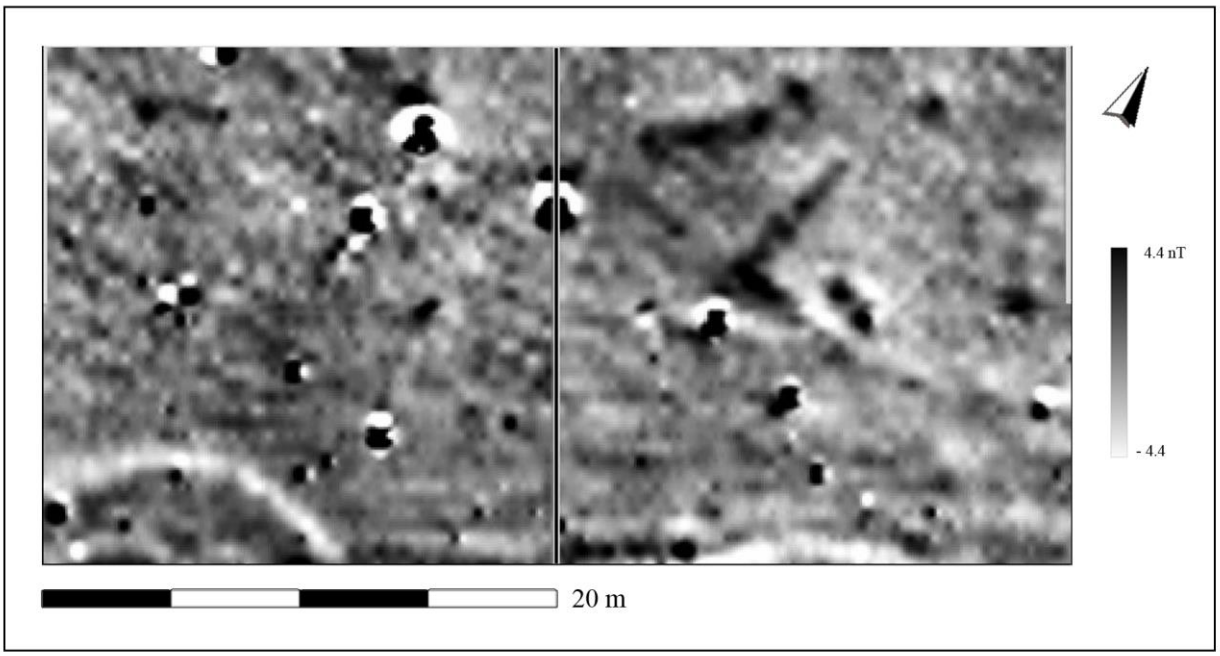
Резултат

В източния некропол (обр. 2) е измерена площ от 15.4 ha, с гъстота на измерванията: 0.25x0.25m. Така са установени множество линейни аномалии с прави и дъговидно извити „ъгли", маркиращи наличието на околомогилни съоръжения, вероятно траншеи или ровове. Сравнението между аерофото-документацията от разкопките от началото на 1980-те години и новополучената карта на вертикалния магнитен градиент показва, че дори обекти, проучени с археологически разкопки като могили 8 и 11 по всяка вероятност притежават сходни непроучени околомогилни структури.



Обр. 2. Свещари – източен некропол. Карта на вертикалния магнитен градиент. Флуксгейт градиентометър: SENSYS MAGNETO® MX ARCH. Площ: 154 дка. Гъстота на измерванията: 0.25x0.25m. Динамика: -10 / 10 nT (© П. Зидаров).

За осигуряване на известна сравнимост на резултатите, заложихме два правоъгълни полигона с общ размер 40x80м на най-достъпното място в западния некропол, разположено в местността Параджика, непосредствено северозападно от северната група могили 1 и 2. За тях имахме данни от разкопките, че са практически синхронни на могилите от източния некропол. Очакванията се потвърдиха – в основата на могилите са установени две линейни корелации на завишен интензитет на магнитното поле, имащи дъговидна форма и разположени в северозападните периферии на могили 1 и 2 (обр. 3). По всяка вероятност, става дума за сегменти от околомогилни ровове, свързани с натрупването на могилите. Северозападно от тях се наблюдават също и няколко праволинейни корелации на завишен интензитет на магнитното поле – включително такива, сключващи прав ъгъл, както и няколко точкови аномалии с контрастни (биполярни) стойности, разпределени неравномерно и без видима организация върху проучената площ. Физическите характеристики на точковите аномалии, подсказват наличието на железни предмети или отделни късове скали със завишено съдържание на железни съединения.



Обр. 3. Свещари – западен некропол. Карта на вертикалния магнитен градиент. Цезиев магнитометър: G-858. Площ: 3.2 дка. Гъстота на измерванията: 1x0.1m, интерполирана до 0.2x0.2m. Динамика: -4.4 / 4.4 nT (© П. Зидаров).

Двете магнитни проучвания, проведени в северните части на източния и на западния некрополи край Свещари през 2016 г. показаха, че в периферията на могилите има редица допълнителни съоръжения като ровове и ями (Обр. 1). Около гробницата с кариатидите в Гинина могила е регистрирана завишена концентрация на околомогилни съоръжения. Някои от тях са точкови – вероятно ями, а други наподобяват четвъртити заграждения (Обр. 2). Някои от тях са разположени в основата на разкопани могили и изглежда ги ограждат, докато над други с Г- и П-образна форма понастоящем не се наблюдават могилни насипи. Подобни аномалии са установени и в западния некропол (Обр. 3). Вероятно и в двата случая става дума за ровове, подобни на гореописаните съоръжения около могила 39 (Гергова и др., 2020; Anastassov et al., 2019).

В заключение, бих искал да подчертая, че представените примери еднозначно разкриват, както перспективността, така и необходимостта от разширяване на фокуса на бъдещите проучвания от могилните насипи към околомогилните пространства не само за откриване на колесници, но и за документиране на землени съоръжения като околомогилни ровове (Филов, 1937, 7; Китов, 1976, 4). Последните биха могли да имат кръгла форма и да са служили като източник на земна маса за първоначалното натрупване на могилните насипи, но потенциално биха могли да възникнат и значително по-късно, тъй като в редица случаи е установено насипване на допълнителни обеми земна

маса върху могили с първоначално скромен насип. Има вероятност тези практики да са били свързани с политически ходове, целящи регламентирането на аристократичната власт чрез култ към предците. Това не изключва възможността дори евентуални нашественици като келтите да се опитат да укрепят влиянието си сред местните общности като възприемат и дооформят по свой вкус и традиция заварените надгробни паметници на вече легендарни по тяхно време местни владетели (Cunliffe, 1997, 174-175).

Корелирането на характерни магнитни аномалии със също толкова характерни археологически структури понякога може да има и още по-неочаквани последствия при анализа на магнитни карти от други части на България, където не са съхранени могилни насипи, но ясно могат да бъдат установени подобни магнитни отпечатъци с трапецовидна форма. Такива вече са установени върху магнитни карти на археологически обекти край село Хаджидимитрово (област Ямбол) и на Ташбаир край водослива на реките Янтра и Дунав (Зидаров и др., 2015, обр. 1; Вагалински и др. 2019). Относително регулярната им регистрация при широкоплощни проучвания с многоканален магнитометър, показва както евристичния потенциал на метода за откриване на непознати типове съоръжения, така и високата вероятност в бъдеще да бъдат откривани все повече подобни паметници.

Благодарности

Благодаря на колектива на ИМ-Исперих – Б. Матева, М. Николаева, Хр. Узунов, както и на К. Димитров (НАИМ-БАН), И. Петри (Германски археологически институт) и Ю. Емилов (Софийски Университет Св. Климент Охридски) за съдействието, както по време на теренните проучвания, така и при дискутирането на резултатите. Благодаря на Ф. Флес и Фр. Лют от германския археологически институт за предоставянето на многоканалния флуксгейт магнитометър, с който бяха извършени измерванията на източния некропол на Свещари, както и на ръководството на Нов Български Университет, за предоставянето на цезиевия магнитометър G-858, с който бяха извършени измерванията в западния некропол. Част от теренните дейности са финансирани от Министерство на културата по програма за целева финансова подкрепа на АР „Сборяново“.

Литература

Вагалински, Л., С. Конрад, Р. Краус, Л. Трайкова, Н. Кечева. „Теренни археологически проучвания в м. Таш баир, землище на с. Новград, община Ценово, област Русе.“ Археологически открития и разкопки през 2018 г. София, стр. 83-85, 2019.

Гергова, Д., Обредът на обезсмъртяването в Древна Тракия. София: Агато, 1996.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, М. Бес, М. Джос, П. Мениел, Ф. Броес, “Редовно археологическо проучване на Голямата Свещарска Могила в ИАР „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2015 г., стр. 296–299, 2016.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, М. Джос, Ф. Броес, К. Фехнер, Х. Цанков, Ц. Попова, Г. Котас, Д. Жирарде, Г. Радославова, С. Савова, М. Бес, “Редовно археологическо проучване на могила 39 от източния некропол в ИАР „Сборяново“.” Археологически открития и разкопки през 2016 г., стр. 215–217, 2017.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, М. Джос, “Редовно археологическо проучване на келтското светилище (могила 39) в източния некропол в ИАР „Сборяново“.” Археологически открития и разкопки през 2017 г., стр. 124–126, 2018.

Гергова, Д., Й. Анастасов, П. Мениел, Ф. Брус, Х. Цанков, Ц. Попова, Г. Радославова, М. Джос, Ж. Дезидери, “Редовно археологическо проучване на келтското светилище (могила 39) в източния некропол в ИАР „Сборяново“.” Археологически открития и разкопки през 2018 г., стр. 215–217, 2019.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, “Проучване на келтското светилище (могила 39) от елинистическата епоха от източния некропол в ИАР „Сборяново“.” Археологически открития и разкопки през 2019 г., стр. 499–503, 2020.

Зидаров, П., Б. Матева, М. Николаева, К. Димитров, И. Петри, "Магнитно картиране в подножието на гробницата с кариатидите в Свещари", Археологически открития и разкопки през 2016 г., стр. 732–734, 2017.

Зидаров, П., В. Петрова, К. Димитров, М. Круме, "Магнитно картиране на археологически ландшафт в м. Казлача между с. Хаджидимитрово, Ямболско и Чокоба, Сливенско." Археологически открития и разкопки през 2014 г., стр. 868–870, 2015.

Китов, Г. Тракийските могили край Стрелча. София: Проучвания НЕК, 1979.

Радков, Р., П. Ставрев, И. Лозенски, С. Авдев, Ч. Гюров, "Геофизични изследвания на археоложки обекти в Североизточна България." Годишник на ВМГИ, т. 14, св. 2, стр. 300–306, 1978.

Ставрев, П., Х. Цанков, "Едно забележително откритие на приложната геофизика в археологията – Царската гробница с кариатиди край село Свещари." Сборник доклади от Национална конференция по геофизика с международно участие „Геофизика 2015" – 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София, 2015. (on CD).

Стефанов, Й., Стомогилие. Велико Търново: ПИК, 414, 1999.

Тонков, Н. "Възможности за приложение на магнитния метод при проучване на надгробни могили (примери от некропола при Свещари)." Интердисциплинарни изследвания XIX, стр. 41–52, 2006.

Тонков, Н., Геофизични методи в археологията. Оптимизиране на методиката за проучване на надгробни могили. Българско е-Списание за Археология, Supplementum 2. София: Асоциацията на българските археолози, 2013. [http://be-ja.org/supplements/2-2013/Be-JA_supp_2_2013.pdf].

Филов, Б. Куполните гробници при Мезек. – *Известия на Българския Археологически Институт,* 11, стр. 1-116, 1937.

Цанков, Х., "Геофизично изследване на келтското светилище (Могила 39) от Източния некропол в ИАР „Сборяново"." X национална конференция по геофизика, 4 юни 2021, София, 2021. (on CD).

Цанков, Х., Р. Радичев, М. Янкова, А. Кисьов, Н. Кирилов, "Геофизични изследвания за целите на археологията в археоложки резерват „Сборяново"." Сборник доклади от Национална конференция по геофизика с международно участие „Геофизика 2015" – 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София, 2015. (on CD).

Anastassov, J., D. Gergova, F. Broes, P. Méniel, C. Tsankov, G. Radoslavova, M. Gios, and J. Desideri. "Nécropoles et territoire: bilan de la mission bulgaro-suisse en 2018." Schweizerisch-Liechtensteinische Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland: Jahresbericht 2018, pp. 163–183, 2019.

Anastassov, J., D. Gergova, P. Méniel, J. Desideri, G. Kottas, and M. Besse. "Un car celtic din necropola princiara getică de la rezervația arheologică naţională Sboryanovo (Bulgaria) = A Celtic Chariot from the Getic Royal Necropolis of Sboryanovo National Archaeological Reserve (Bulgaria)." Istros 25, pp. 125–147, 2019.

Cunliffe, B. The Ancient Celts. Oxford-New York: Oxford University Press, 1997.

Gergova, D. 2016. "The southern group of tumuli of the Eastern Necropolis in the Sboryanovo reserve. Greek amphorae and a Getic royal burial." In Aegean-Mediterranean imports and influences in the graves from continental Europe - Bronze and Iron Ages. Proceedings of the XVII UISPP World Congress (1-7 September, Burgos, Spain). Volume 9 / Sessions A3c and A16a., edited by Fernando Coimbra, Davide Delfino, Valeriu Sîrbu, and Cristian Schuster, 197–209. Oxford: Archaeopress Publishing Ltd.

Katevski, I., Geophysical prospecting of tumuli in Sboryanovo – approaches and effectiveness. – In: Sboryanovo: studies and prospects. Helis, vol. 2, pp. 115-117,1998.

Stoyanov, T. „Who Was Buried in the Caryatids' Tomb at Sveshtari?" Thracia, vol. 12 – Studia in honorem Christo Danov, pp. 103–107, 1998.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N11

Geophysical study of Tumulus 39, Tumulus 33 and the near inter-mound space from the Eastern necropolis in Sboryanovo reserve

Christian Tzankov[1]

[1]-University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Applied Geophysics, e-mail: ch.tzankov@gmail.com

Keywords: applied geophysics, archaeo-geophysics, magnetometry, magnetic gradiometry, aerial photography, orthophotomap, Sboryanovo reserve

Abstract:
The geophysical study presented, including magnetic gradiometry and aerial photography, was carried out in connection with a regular archaeological survey of Tumulus 39 (presumed Celtic sanctuary), Tumulus 33 and the near inter-mound space of the Eastern necropolis in Sboryanovo reserve. The ground geomagnetic measurements were undertaken as continuation of former surveys (2014) in the area of the sanctuary.
The geomagnetic measurements were performed on profile lines with a total length of 11,825 m, covering an area of 1.15 hectares. The obtained data was analysed, processed and interpreted. The created geomagnetic maps showed several anomalous magnetic zones of various nature and origin, which are suitable for guiding of future archaeological activities in the area of the Celtic sanctuary. Some of the magnetic anomalies were checked during subsequent archaeological excavations and various trenches and pits were discovered and reported, which supplement the information about the structure of the ritual complex.
The main conclusion, which is confirmed, is that in the area of Sboryanovo reserve the magnetic method provides very good and guiding results, which is facilitated by the properties of the subsurface environment and the characteristics of the archaeological objects and facilities under study.

Геофизично изследване на Могила 39, Могила 33 и близкото междумогилно пространство от Източния некропол в ИАР „Сборяново"

Християн Цанков[1]

[1]-Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофизика", e-mail: ch.tzankov@gmail.com

Ключови думи: приложна геофизика, археогеофизика, магнитометрия, магнитна градиентометрия, аерофотография, ортофотокарта, ИАР Сборяново

Въведение

Историко-археологически резерват (ИАР) „Сборяново" обхваща територия от 800 хектара и е разположен в Североизточна България, на около 10 km от гр. Исперих, югозападно от с. Свещари (фиг. 1). Резерватът се отличава с изключителния характер на регистрираните археологически и културни паметници, които надхвърлят 140, обхващайки период от палеолита до края на Средновековието (Гергова 2004). Те включват древни селища, светилища и некрополи изградени и използвани от траки-езичници, българи-християни и хетеродоксни мюсюлмани, някои от които функционират и до наши дни.
Най-интересните открития и находки в ИАР „Сборяново" се датират I в. пр. Хр. и са свързани с културата и цивилизацията на Траките. Те свидетелстват за съществуването на важен политически, икономически и религиозен център, който най-вероятно е тракийският град Хелис – столица на Гетското царство (Anastassov et al., 2019).

Използването на широк спектър интердисциплинарни изследвания, в частност геофизичните методи, традиционно съпътстват редовно провежданите в рамките на резервата археологически проучвания (Gergova, 1992). От 1973 г. до 1975 г. прилагането на геофизични методи в района на резервата придобива систематичен характер, като в редица случаи геофизичните изследвания имат водеща роля при насочването на изкопните археоложки работи (Ставрев и Цанков, 2015). Най-известният обект, за откриването на който съществен принос имат проведените през този период геофизични изследвания (Радков и др. 1973, 1975), е Свещарската царска гробница с кариатиди, включена в списъка на световното културно и природно наследство на ЮНЕСКО.

В последните 15 години геофизичните изследвания в района на резерват Сборяново се извършват с помощта на модерна техника и усъвършенствана методика от различни изследователи, сред които инж. Илиян Катевски (Гергова и др., 2010), инж. д-р Никола Тонков (Тонков и Катевски, 2007), арх. Петър Зидаров (Зидаров и др., 2017; Зидаров, 2021), инж. д-р Християн Цанков (Цанков и др., 2015), инж. д-р Атанас Кисьов и др.

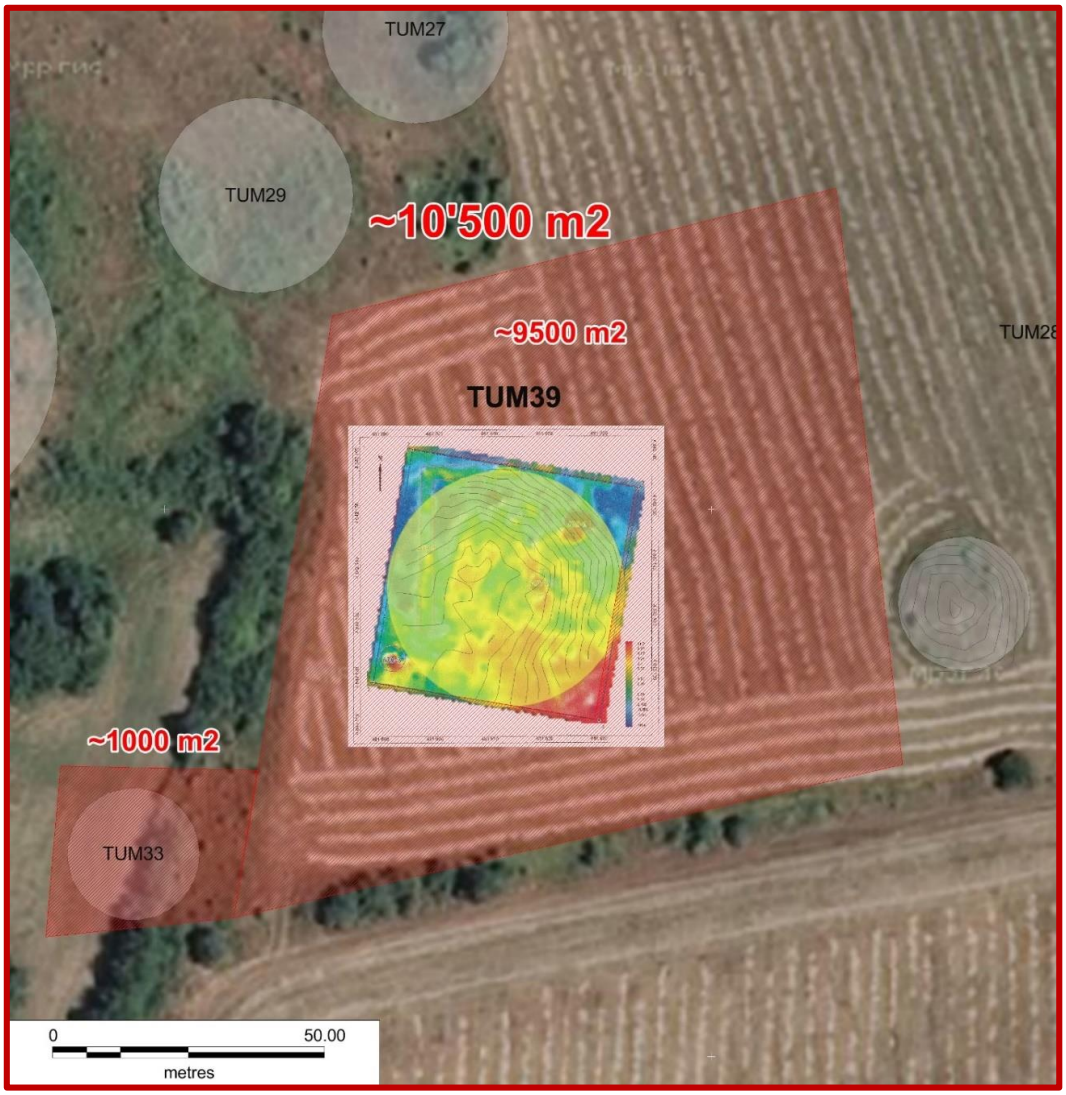
Представеното по-долу геофизично изследване, включващо магнитна градиентометрия и заснемане с дрон, е извършено във връзка с провеждане на редовно археологическо проучване в участък от ИАР „Сборяново“, интерпретиран като келтско светилище (Гергова и др., 2018, 2019, 2020), включващ Могила 39 (М39), Могила 33 (М33) и близкото междумогилно пространство, под ръководството на Проф. Диана Гергова и д-р Йордан Анастасов. Магнитометричните измервания се явяват своеобразно продължение на изследванията на М39, проведени с участие на членове на настоящия екип, работили в района през 2014 г. (Цанков и др., 2015, Гергова и др., 2017). Полевите геофизични работи са осъществени през 2018 г. на два етапа. Първият етап е в средата на месец септември в участъка около М39, а вторият – в края на първата половина на месец ноември в участъка около М33. Геофизичните измервания са реализирани от геофизик гл. ас. д-р Християн Цанков и геофизик гл. ас. д-р Атанас Кисьов от катедра „Приложна геофизика“ на МГУ „Св. Иван Рилски“.



Фигура 1. Обзорен Google Earth изглед към района на изследвания обект (червеният полигон)

Използвана апаратура

Геомагнитните проучвания са извършени с помощта на два протонни магнитометъра на канадския производител GEM Systems, Inc. Единият е двуканален протонен магнитометър модел GSM-19TGW, използван за определяне на вертикалния градиент на геомагнитното поле по проектните профилни линии. GSM-19TGW е подходящ за решаването на широка гама задачи свързани с измерване на тоталния вектор на геомагнитното поле и неговия вертикален градиент при провеждане на разнообразни геофизични, геоложки, геотехнически или археоложки проучвания, както и за продължителни мониторингови наблюдения в магнитни обсерватории, вулканоложки, сеизмологични изследвания и др. Другият магнитометър, модел GSM-19 (Overhauser), е използван за регистрация на денонощната вариация на геомагнитното поле. Високата разделителна способност на този уред го прави подходящ при решаване на редица задачи свързани с търсене и проучване на минерални находища; екологични и инженерни проблеми; картиране тръбопроводни трасета; локализиране на невзривени амуниции; археология и др.
Въздушното заснемане на обекта и околното пространство са заснети с дистанционно управляемо летателно средство (ДУЛС) – модел DJI Phantom 3 Pro. Квадрокоптерът Phantom 3 Professional на DJI е безпилотен дистанционно управляван летателен апарат – дрон, от среден клас. Гъвкавостта на управление, стабилността му във въздуха и вградената камера с висока резолюция окачена на триосна жироскопична стойка за стабилизация в реално време го правят изключително подходящ за разнообразни мисии свързани със заснемане, следене и картографиране.



Фигура 2. Обзор на района на изследванията с очертана проектна площ за изследване в червено с наложени резултати от геомагнитните измервания на М39 от 2014 г. (Цанков и др. 2015)

Предварителна подготовка

Съгласно предварителния план, проектната площ за изследване възлиза на около 10,5 дка. и обхваща пространството около М39, достигайки на изток до Могила 28 (М28), а на запад обхваща М33 и околностите й (фиг. 2).
Преди началото на измервателните работи е извършен предварителен оглед с цел оценка актуалното състояние на терена и условията за провеждане на геофизични изследвания. Екип от археолози и местни работници разчистиха част от терена от растителност и др. препятствия, затрудняващи нормалното провеждане на геофизични работи в проектната площ. В участъка около М39, с приблизителна площ 9,5 дка., който бе проучен през септември 2018 г., бе развита план-квадратна мрежа с размери 50 x 50 m, а в участъка около М33, проучен през ноември 2018, мрежата е с размери 25 x 10 m. На терена геодезически бяха отложени дървени колчета, очертаващи площите, в която са извършени последвалите геофизични проучвания (фиг. 2).

Техника и методика на геомагнитните измервания

Измерванията са извършени на два етапа. По време на първия е изследван източният участък около М39, а при втория – западният участък, в който попада М33. В първия участък, геомагнитните профили имат ориентация приблизително север-юг, а във втория изток-запад (фиг. 3). Изследванията са осъществени по успоредни профили отстоящи на 1 m един от друг. Измерването на геомагнитното поле е извършено чрез зигзагообразно обхождане по профилите. Хомогенното покритие на профилите с данни е постигнато при равномерен ход на оператора на магнитометър.



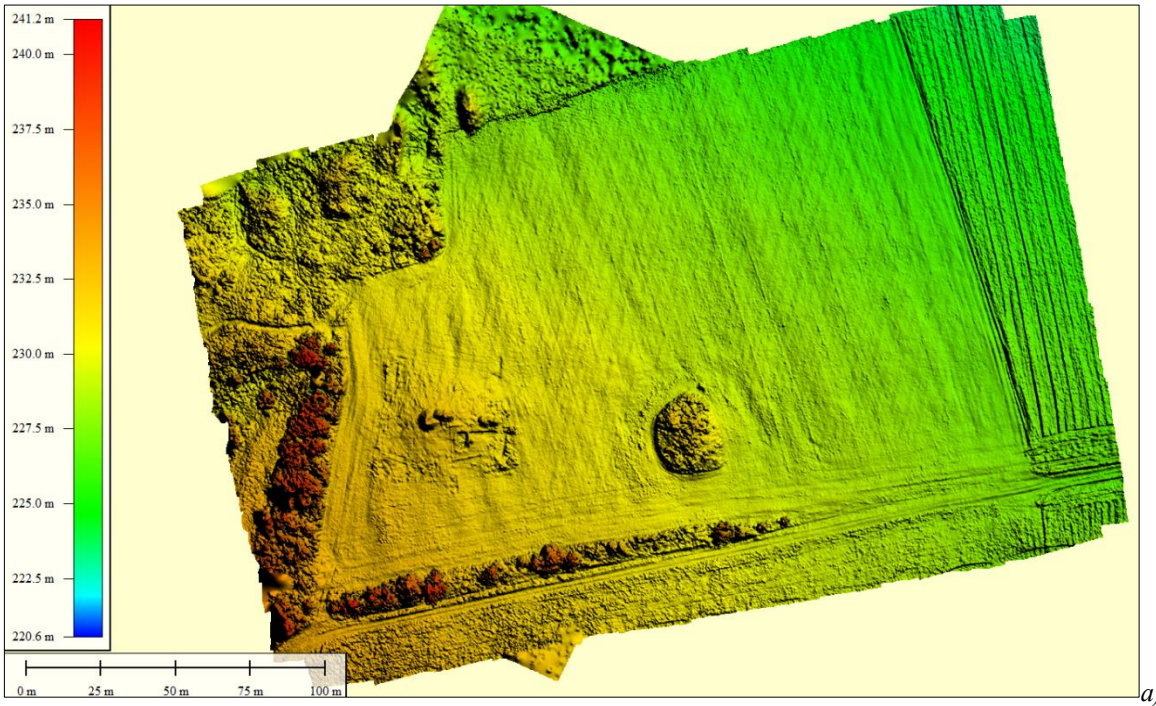
Фигура 3. Разположение на двата участъка върху ортофото карта с наложени измервателните точки от геомагнитните проучвания

Геомагнитните проучвания са реализирани с два магнитометъра. С първия е работено в режим „градиентометър с непрекъснат запис“ като измерването е извършено едновременно на две разположени вертикално на 135 cm едно над друго нива. По този начин, освен големината на интензитета на геомагнитното поле е определен и неговия вертикален градиент. Записът на данните за полето е осъществен при интервал от 0,5 s (2 Hz). Вторият магнитометър е използван като базова

станция. Поставен е в точка с незначителни стойности на хоризонталния и вертикалния геомагнитен градиент. Стойностите на денонощната вариация на магнитното поле в базовата точка (ВТ) са регистрирани на всеки 3 s (0,33 Hz).

В средата на източния участък, поради провеждане на археологически разкопки и струпване на земна маса е пропуснат правоъгълен участък с размери 37 x 25 m (фиг. 3). Също така, тази площ е проучена при геофизичните работи проведени през 2014 г. в резервата (фиг. 2).

Геомагнитните измервания в източния участък са извършени по 127 профилни линии с обща дължина 10 275 m, като покритата с измервателни точки площ възлиза на 10 дка. В западния участък профилите са 31 с обща дължина 1550 m върху площ от 1,5 дка. Общата дължина на измервателните геомагнитни профили за двете площи е 11 825 m, а изследваната площ е 11,5 дка.



а)



б)

Фигура 4. Цифров височинен модел на терена на района на укреплението (а) и ортофото мозайка (б) създадени по данни от втората летателна мисия (10 m височина)

Заснемане с дрон

Ортофото заснемането на терена е осъществено чрез две летателни мисии. Снимките са направени с максимална резолюция 12 Mpix и наклон на камерата -90°. Височината на полета при изпълнение на първата мисия бе 20 m над терена, а при втората – 10 m. Въз основа на получените изображения е създаден цифров височинен модел (фиг. 4а), който е използван за генерирането на ортофото мозайка (фиг. 4б). Получените резултати са използвани при анализа и интерпретацията на данните.
Общият брой изображения използвани за създаване на ортофото мозайките е 750. Заснетата площ е с размери 261 x 160 m, като покритието на модела възлиза на 41,76 дка.

Обработка на геофизичните данни и резултати

След края на полевия ден геомагнитните измервания са коригирани за денонощна вариация със стойностите от базовата станция (БТ) при референтно ниво T_{PH} = 48 250 nT по формулата:

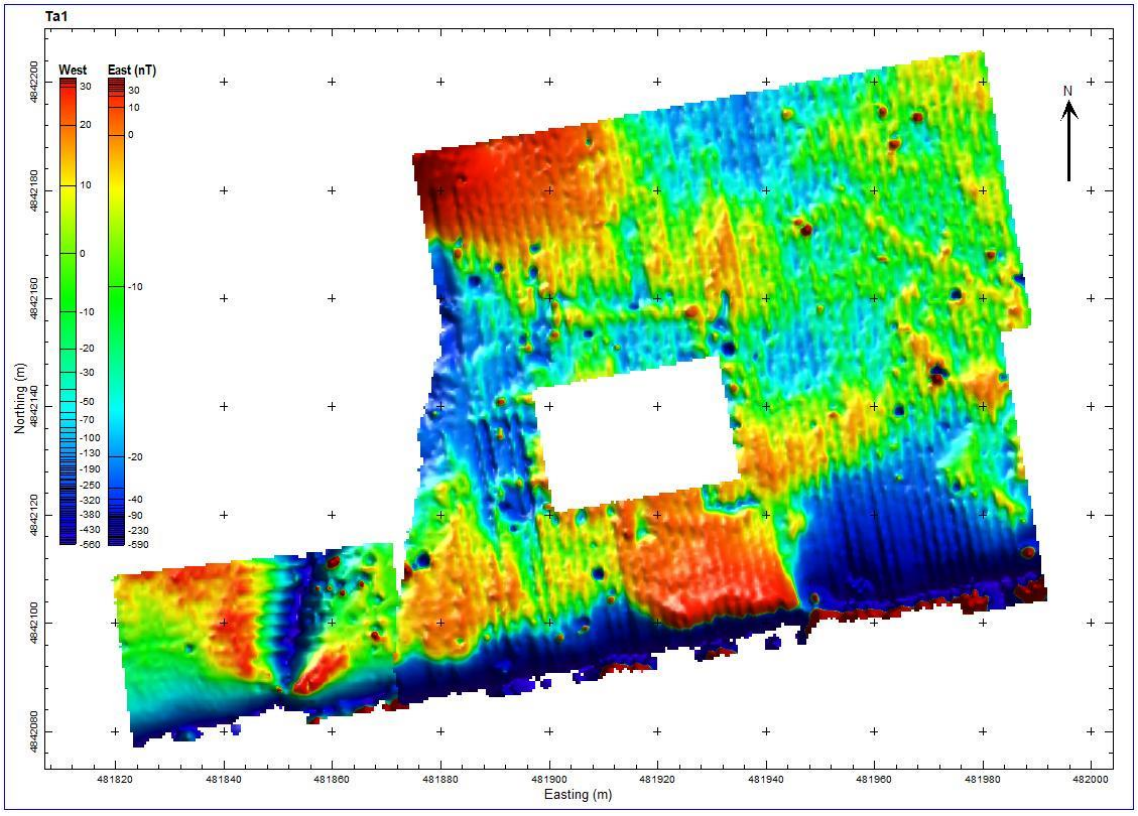
(1) $$T_{\text{кор}} = T_{\text{изм}} - T_{\text{БТ}} + T_{PH} .$$

След това данните от двата магнитометъра са прехвърлени на преносим компютър за по-нататъшна обработка. Допълнително е направена справка за характера на денонощната вариация и на геомагнитната активност в базата данни на Геомагнитна обсерватория Панагюрище (PAG).
Коригираните стойности на геомагнитното поле $T_{\text{кор}}$ спрямо базовата точка, както и стойностите на вертикалния градиент $\partial T/\partial z$ са въведени в таблица по колонки със съответните координати и коти. Координатите по X и Y са въведени в проекционна координатна система UTM-35N, както и в географски координати (WGS84). Котите са в Балтийска височинна система. Изчислено е и аномалното геомагнитно поле T_a към епоха 2018.5 съгласно модела на Международното геомагнитно референтно поле, епоха 2015 (IGRF-12).
Въз основа на обработените първични данни и с помощта на софтуер за генериране на гридове са създадени правоъгълни мрежи с гъстота на точките 0,5 x 0,5 m. Генерирани са следните базови цифрови модели на геомагнитното поле в КС UTM-35N:

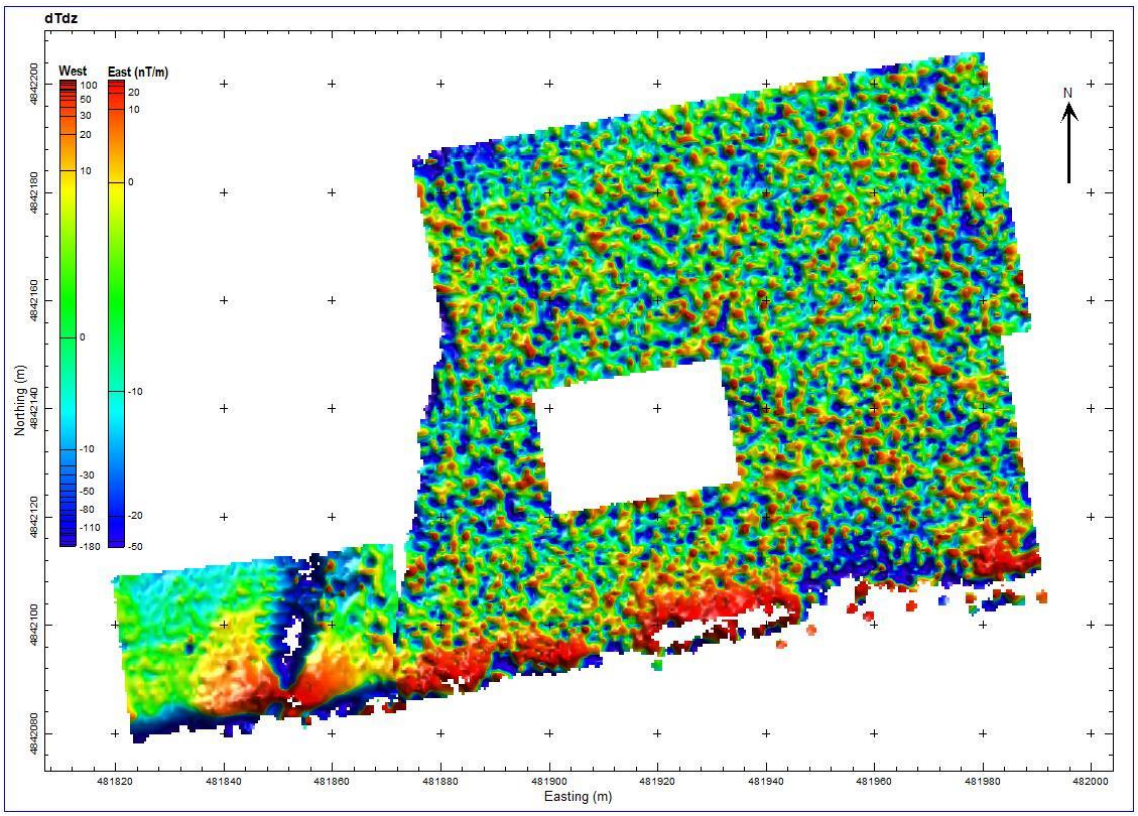
- Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле за първото ниво (фиг. 5);
- Карта на вертикалния градиент на геомагнитното поле (фиг. 6).

Тези базови модели послужиха като основа за допълнителни трансформации на измереното геомагнитно поле, както и за последващите анализ и интерпретация.
За нуждите на интерпретацията, картата на аномалното геомагнитно поле T_{a1} за долното ниво на измерване е коригирана за отместването на данните по срещуположните профили – ефект, който се наблюдава при провеждане на геомагнитни профили по зигзагообразна схема, дължащ се на азимутната грешка на измервателната апаратура, както и на собственото магнитно поле на оператора. За това е подходящо прилагане не филтрация известна под названието микронивелиране (microleveling), която е използвана стандартно при обработката на геомагнитни данни за целите на археологията и аеромагнитните изследвания (фиг. 7).
Всички по-нататъшни трансформации на полето са приложени върху микронивелираните данни за долното ниво на измерване, тъй като те се характеризират с по-висок информационен потенциал за интерпретация за археологически цели. Направени са следните стандартни преобразувания, като са получени и съответните карти:

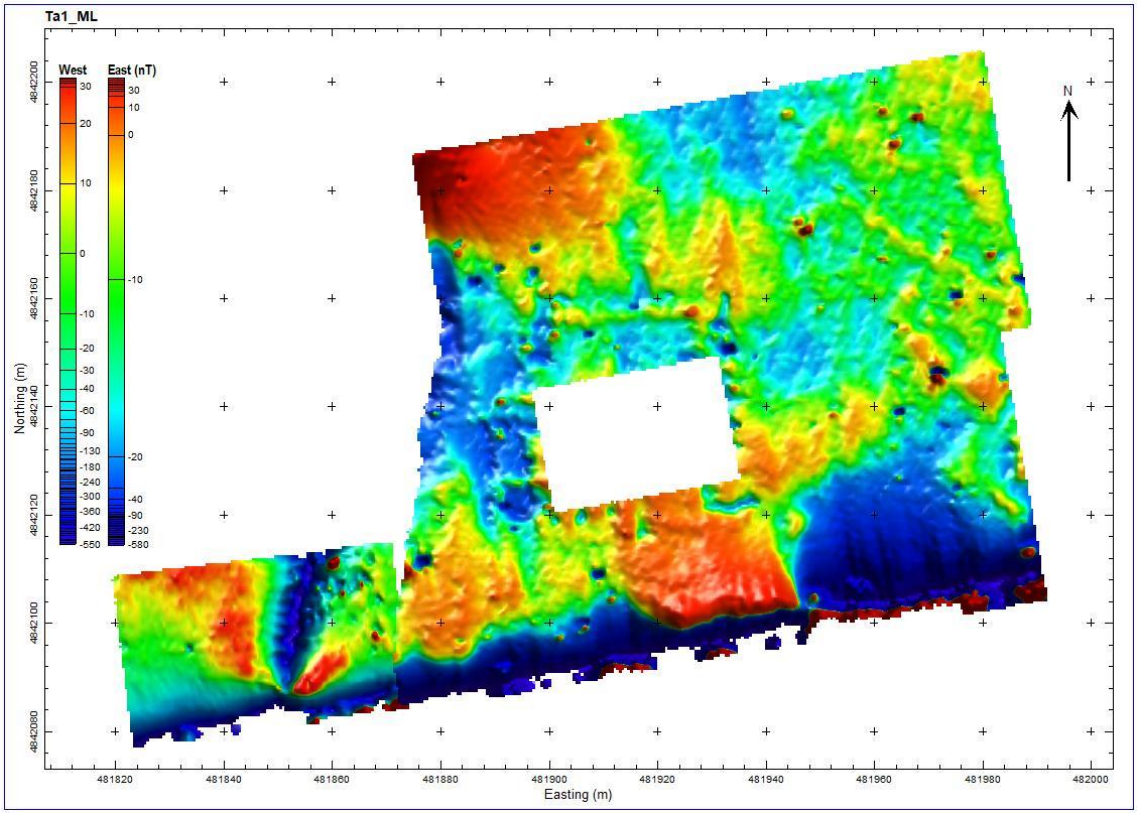
- Редукция към полюс /RTP/;
- Определяне на една съставяща на полето от друга /*Hx, Hy, Z*/;
- Определяне на хоризонталния магнитен градиент /*H*/;
- Аналитичен сигнал /AS/;
- Високочестотна филтрация при различни размери на филтрираните аномалии /HP10, HP20/.



Фигура 5. Карта на аномалното геомагнитно поле T_{a1} за долното ниво на измерване



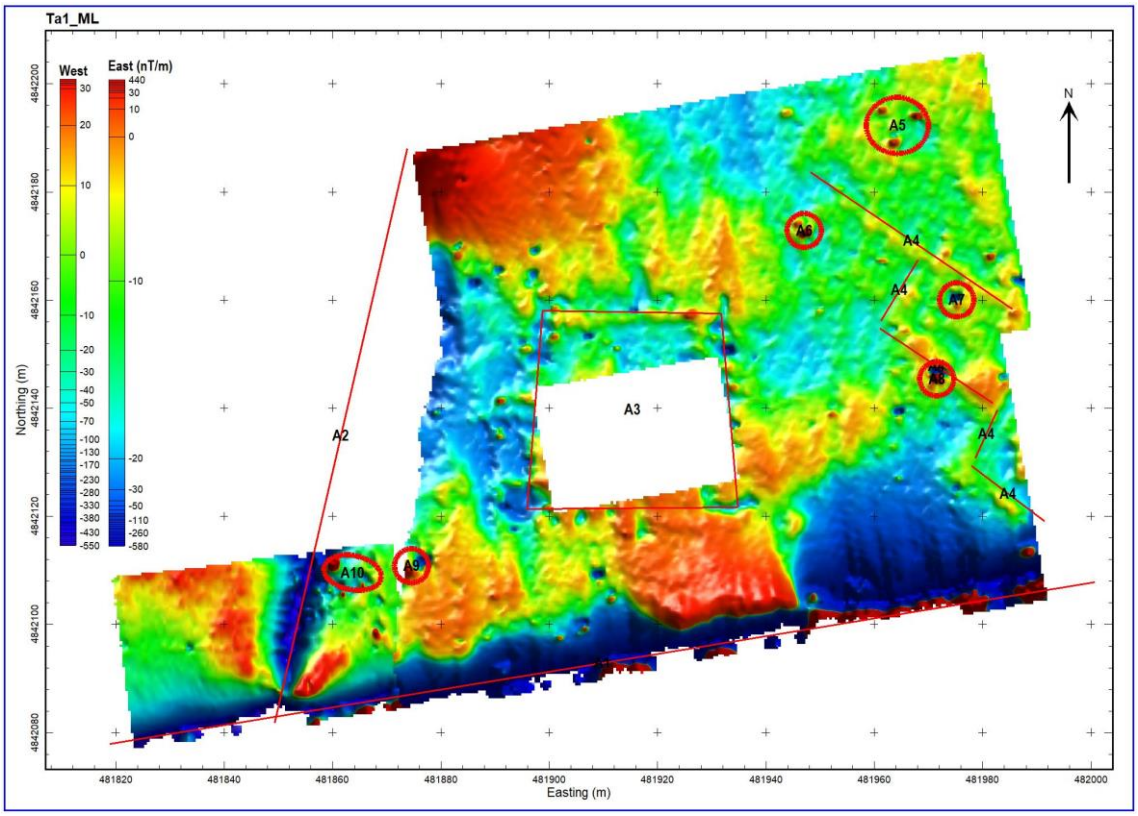
Фигура 6. Карта на вертикалния геомагнитен градиент *dT/dz*



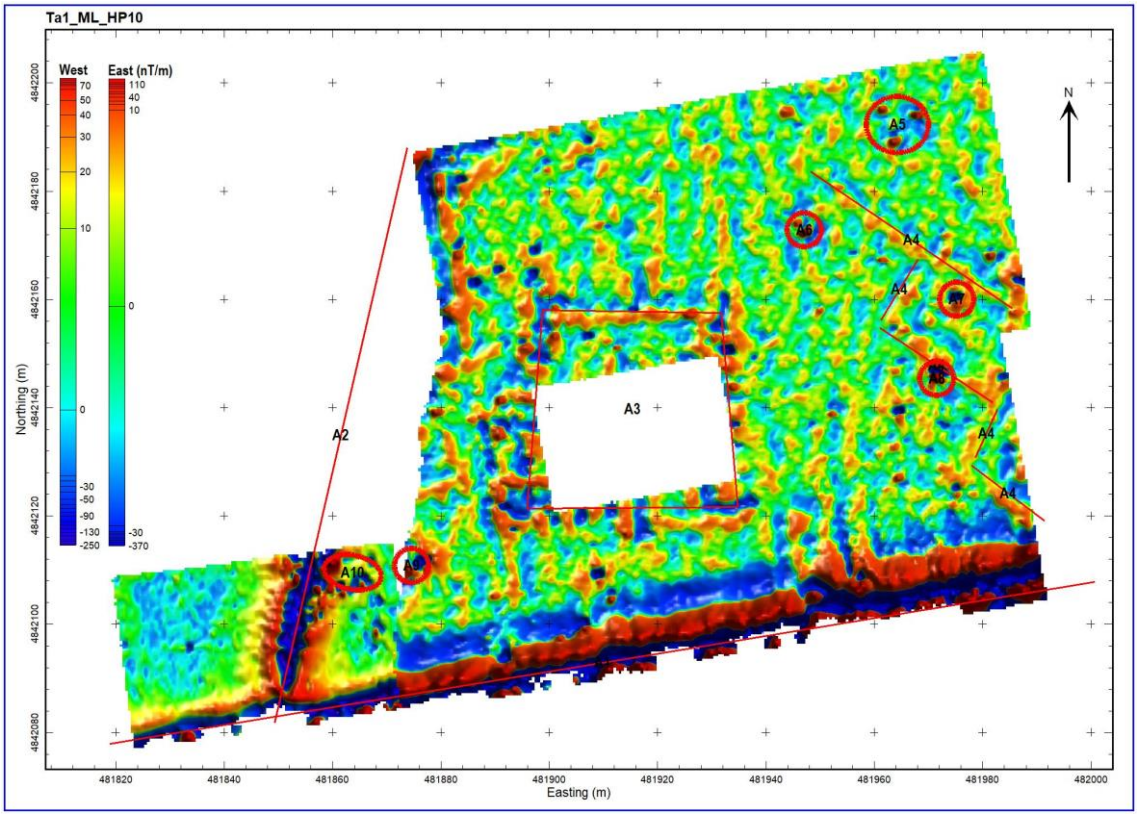
Фигура 7. Карта за първо ниво T_{a1} на измерване с приложено микронивелиране на данните

Анализ и интерпретация на геомагнитните карти

Събраните геофизични данни са обработени и интерпретирани.
Измереното геомагнитно поле се характеризира със сравнително постоянни стойности в по-голямата част от площта. Големи аномални стойности се регистрират по южната граница на магнитната карта, както и през централната част на М33 (фиг. 8 и 9). Най-вероятното това се дължи на наличието на метален водопровод свързан с намиращата се в непосредствена близост водна кула (аномалии А1 и А2).
Около проучения от археолозите участък от М39, т.нар. централен сектор от светилището, се очертава трапецовиден контур обозначен като аномалия А3 (фиг. 8 и 9). По форма той съвпада с резултатите от направените до този момент археологически проучвания (Гергова и др., 2018, 2019, 2020), които показват наличието на запълнено рововo ограждане около М39 и дублиращ ров извън заградената площ (фиг. 10).
В източния сектор от проучената площ се регистрират няколко слаби линейни аномалии, които оформят стъпаловидна форма, която е възможно да бъде свързана с неизвестна досега антропогенна структура. На фигурите тя е обозначена като аномалия А4 (фиг. 8 и 9). През 2019 г. този участък е проучен от археолозите чрез отваряне на шест сондажни изкопа (Гергова и др., 2020). Документирани са пет участъка от ров, както и две големи правоъгълни ями, съвпадащи с линеаментите на А4. За сравнение тук са представени план и профил на яма Fo199 локализирана при геофизичното проучване (фиг. 11).
В района на регистрация на аномалия А4 са локализирани и няколко малки изометрични аномалии очертани с кръгове (фиг. 8 и 9). Аномалия А5 се състои от 3 силни точкови аномалии – вероятни метални предмети. Аномалии А6, А7 и А8 също се очаква да са свързани с плитки метални (железни) предмети. Не е изключено тези аномалии да имат съвременен характер.

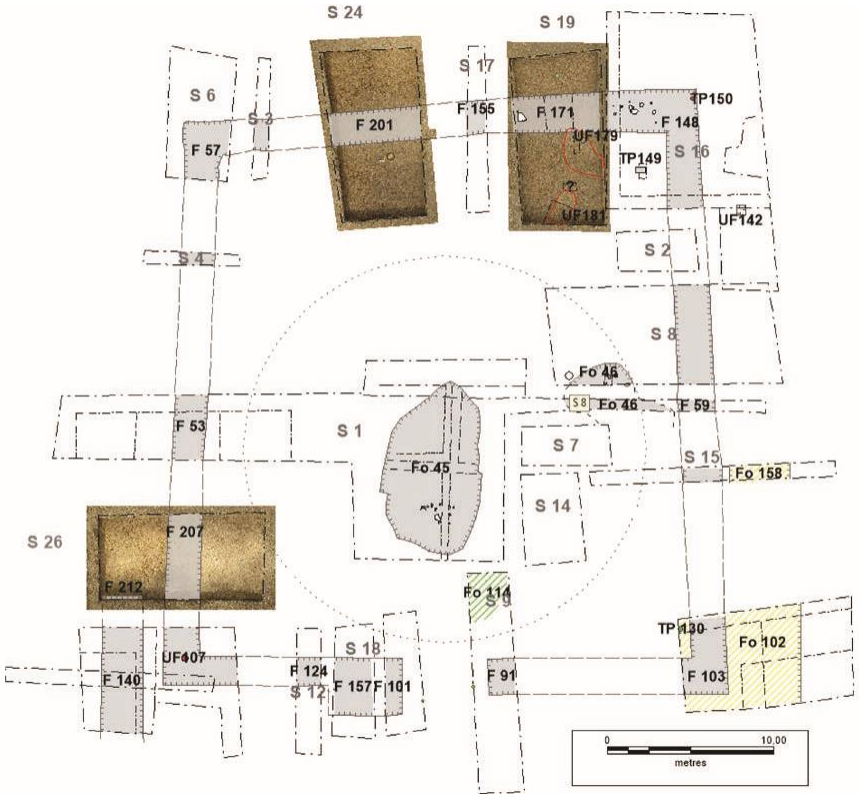


Фигура 8. Интерпретация на резултатите от геофизичните изследвания наложена върху аномалното геомагнитното поле за първо ниво T_{a1} с приложено микронивелиране на данните

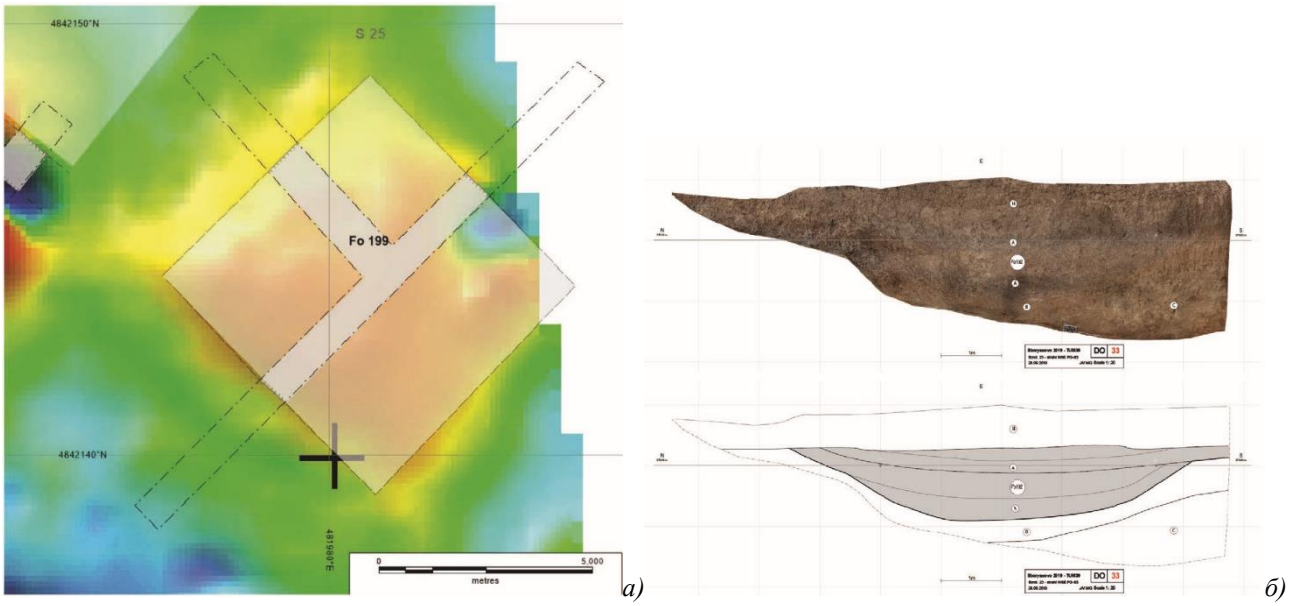


Фигура 9. Интерпретация на резултатите от геофизичните изследвания наложена върху аномалното геомагнитното поле за първо ниво T_{a1} с приложен високочестотен филтър за аномалиите с размер над 10 m

В участъка около М33 е регистриран силен смутител, вероятно метална тръба, която е обозначена като аномалия А2. Въпреки това са регистрирани две по-малки аномалии очертани с елипси – А9 и А10. Възможно е те да са свързани, но поради това, че са регистрирани при различни измервания и настройки на апаратурата са отбелязани поотделно. Според характера на аномалиите те могат да бъдат причинени от струпване на малки обекти с повишени феромагнитни свойства. Не е изключено да става въпрос за съвременни предмети – отпадъци.



Фигура 10. Общ план на проучените от археолозите площи в централния сектор на предполагаемото келтско светилище (цветните изкопи са разкрити и документирани от Гергова и др., 2020) с разположение на Могила 39 (кръгът в централната част на фигурата)



а) *б)*

Фигура 11. Част от магнитна аномалия А4 и сондажен изкоп S20 с план (а) и профил (б) на яма Fo199, намиращи се в източния сектор на предполагаемото келтско светилище (по Гергова и др., 2020)

Заключение

Във връзка с проведените през 2018 г. геофизични изследвания в района на Могила 39 и Могила 33 от ИАР „Сборяново“ в землището на с. Свещари, общ. Исперих, обл. Разград, могат да бъдат направени следните изводи и заключения:

- Обектът е изследван на два етапа, като са извършени геомагнитни изследвания с цел локализиране на гробни или други структури в рамките на могилните съоръжения и околомогилното пространство.
- Геомагнитните измервания са извършени по профилни линии с обща дължина 11 825 m, покривайки площ от 11,5 дка.
- Събраните геофизични данни са обработени и интерпретирани.
- Създадени са цифров височинен модел и ортофото карта на изследвания участък.
- В площта са набелязани разнообразни по характер и произход аномални магнитни зони, които са подходящи за насочване на бъдещи археоложки дейности в изследвания участък интерпретиран от археолозите като келтско светилище.
- Част от магнитните аномалии са проверени при последващи археологически разкопки, при което са разкрити и документирани различни ровове и ями, които допълват информацията за устройството на комплекса.

Основното заключение, което се затвърждава от гореизложеното е, че в района на ИАР „Сборяново“ магнитният метод дава много добри и насочващи резултати, за което способстват свойствата на вместващата земна среда и характеристиките на археоложките обекти, предмет на изследване.

В тази връзка, едно систематично проучване на по-големи територии от междумогилното пространство в района интерпретиран като келтско светилище, както и северно и източно от него, следва да хвърли нова светлина върху наличието и разпределението на структури и съоръжения в междумогилното пространство на резервата.

С цел повишаване скоростта и качеството на геомагнитите изследвания е подходящо внедряването на многоканални магнитни системи монтирани на ръчна количка или високопроходим автомобил (Зидаров и др., 2017).

Би било интересно да бъдат извършени тестови измервания и с други геофизични методи, като напр. георадар (Цанков и Янкова, 2013), електропрофилиране (Тонков, 2013; Цветков и Кисьов, 2016, Кисьов и др., 2020) или ЕМ, с цел оценка възможностите за разработване на съвременна рационална методика за провеждане на комплексни геофизични изследвания в района на ИАР „Сборяново“ и околностите.

Литература

Гергова, Д. Сборяново. Свещената земя на гетите. Изд. Български бестселър - Национален музей на българската книга и полиграфия ЕООД, София, 84 стр, 2004.

Гергова, Д., И. Катевски, М. Кузманов, К. Константинов, П. Стоянов. Проучвания на елинистическия некропол на гетския култов и политически център в резервата „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2009 г., Изд. Авангард, София, стр. 212 – 214, 2010.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, М. Джос, Ф. Брус, К. Фехер, Х. Цанков, Ц. Попова, Г. Котас, Д. Жирарде, Г. Радославова. Редовно археологическо проучване на могила 39 от Източния некропол на ИАР „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2016 г., Изд. Булгед ООД, София, стр. 215 – 217, 2017.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери, М. Джос. Редовно археологическо проучване на келтското светилище (могила 39) от Източния некропол в ИАР „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2017 г., Изд. Булгед ООД, София, стр. 124 – 126, 2018.

Гергова, Д., Й. Анастасов, П. Мениел, Ф. Брус, Х. Цанков, Ц. Попова, Г. Радославова, М. Джос, Ж. Дезидери. Редовно археологическо проучване на келтското светилище (Могила 39) от Източния некропол на ИАР „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2018 г., Изд. Булгед ООД, София, стр. 157 – 159, 2019.

Гергова, Д., Й. Анастасов, Ж. Дезидери. Проучване на келтското светилище (Могила 39) от елинистическата епоха от Източния некропол в ИАР „Сборяново“. Археологически открития и разкопки през 2019 г., Кн. I, Изд. Булгед ООД, София, стр. 499 – 503, 2020.

Зидаров, П. В подножието на Свещарските могили или за ползите от магнитният метод в проучването на околомогилните пространства. 10-та Национална конференция по геофизика, 4 Юни 2021, София, 2021. (on CD).

Зидаров, П., Б. Матева, М. Николаева, К. Димитров, И. Петри. Магнитно картиране в подножието на гробницата с кариатидите в Свещари. Археологически открития и разкопки през 2016 г., Изд. Булгед ООД, София, стр. 732–734, 2017.

Кисьов, К., Ат. Кисьов, С. Христева. Геофизични проучвания на обект „Тракийски селищен център от V в. пр. Хр.“ до с. Васил Левски, общ. Карлово, обл. Пловдив. Археологически открития и разкопки през 2019 г., Кн. I, Изд. Булгед ООД, София, стр. 450 – 454, 2020.

Радков Р., И. Лозенски, П. Ставрев, Ч. Гюров. Разработване на рационална методика за провеждане на комплексни геофизични изследвания на археологични обекти в Исперихски район. Фонд НИС ВМГИ, Договор № 412, София. 1973.

Радков Р., И. Лозенски, П. Ставрев, Ч. Гюров. Геофизични изследвания на надгробни могили в Разградско. Фонд НИС ВМГИ, Дог. № 446, София, 1975.

Ставрев, П., Х. Цанков. Едно забележително откритие на приложната геофизика в археологията – Царската гробница с кариатиди край село Свещари. Сборник доклади от 7-ма Национална конференция по геофизика с международно участие „Геофизика 2015” – 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София, 2015. (on CD).

Тонков, Н. Геофизични методи в археологията оптимизиране на методиката за проучване на надгробни могили. Българско е-Списание за Археология, т. 2, Изд. Асоциацията на българските археолози, София, 403 стр., 2013.

Тонков, Н., И. Катевски. Геофизични изследвания за определяне дебелината на културния слой в района на обект „Водната централа” в археологическия резерват Сборяново. Stefanovich M., C. Angelova (eds.) PRAE, In Honorem Henrieta Todorova, Publ. Faber Ltd., Sofia, pp 333-336, 2007.

Цанков, Хр., Янкова, М. Георадарът навлиза широко в полевата геофизиката. Минно дело и геология, т. 5/6, стр. 31-35, 2013.

Цанков, Х., Р. Радичев, М. Янкова, А. Кисьов, Н. Кирилов. Геофизични изследвания за целите на археологията в археоложки резерват „Сборяново“. Сборник доклади от 7-ма Национална конференция по геофизика с международно участие „Геофизика 2015” – 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София, 2015. (on CD).

Цветков, А., Ат. Кисьов. Ръководство за упражнения по електрични методи в геофизиката. Издателска къща „Св. Иван Рилски”, София, 268 стр., 2016.

Anastassov, J., D. Gergova, F. Broes, P. Méniel, C. Tsankov, G. Radoslavova, M. Gios, J. Desideri. Sboryanovo (Bulgarie) – Nécropoles et territoire : bilan de la mission bulgaro-suisse en 2018. Swiss-Liechtenstein Foundation for Archaeological Research Abroad (SLSA) (Ed.). SLSA Annual Rapport annuel 2018. Zurich: Tamedia, pp 163-184, 2019.

Gergova, D. Helis II: Sboryanovo – Studies and Prospects. Proceedings of the Conference in Isperih, 8th December 1988. Sofia, IK Paraf, pp 9-22, 1992.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N12

Long-term use of remotely sensed spectral measurements data

Denitsa Borisova, Doyno Petkov, Ventzeslav Dimitrov

Space Research and Technology Institute-Bulgarian Academy of Sciences /SRTI-BAS/
Sofia, 1113, Acad. G. Bonchev str. bl. 1, dborisova@stil.bas.bg

Key words: remote sensing, spectrometric measurements, spectral data, spectral library

Abstract
The long-term use of data from remote spectral measurements, as well as their sharing, is a fundamental scientific task. This report presents the study on the structure and design of spectral libraries. Spectral libraries or libraries from remote spectral measurement databases are an important tool for storing, managing and using spectral datasets. This information is one of the main in the application of remote sensing of the Earth and the planets. The authors are preparing the study in relation to a project funded by Contract № KP-06-M27/2 with the Bulgarian National Scientific Fund /BNSF/.

Дългосрочно ползване на данни от дистанционни спектрални измервания

Деница Борисова, Дойно Петков, Венцеслав Димитров

Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките /ИКИТ-БАН/
София, 1113, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 1; dborisova@stil.bas.bg

Ключови думи: дистанционни изследвания, спектрометрични измервания, спектрални данни, спектрална библиотека

Резюме
Дългосрочното ползване на данни от дистанционни спектрални измервания, както и тяхното споделяне, е фундаметнална научна задача. В настоящия доклад е представено проучването относно структурата и дизайна на спектралните библиотеки. Спектралните библиотеки или библиотеки от бази данни от дистанционни спектрални измервания са важен инструмент за съхранение, управление и използване на масиви от спектрални данни. Тази информация е една от основните при прилагане на дистанционните изследвания на Земята и планетите. Авторите подготвят проучването във връзка с проект, финансиран по Договор № КП-06-М27/2 с Фонд “Научни изследвания” /ФНИ/.

Съхранение на данни

Дългосрочното ползване на данни от дистанционни спектрални измервания и тяхното споделяне е фундаментална научна задача. Спектралните библиотеки или библиотеки от бази данни са важен инструмент за съхранение и управление на масиви от спектрални данни и са в основата на дистанционните изследвания на Земята и планетите. Спектралните библиотеки, съдържащи спектрални характеристики на различни обекти, са важен източник на информация за начина на обработка на данните от дистанционните изследвания. Те се използват за подобряване на анализа, дешифрирането и интерпретацията на спътниковите изображения и за подпомагане при идентифицирането на изследваните обекти от земната повърхност. Незаменими при дешифрирането и интерпретацията на изображения, чрез които се извлича информация за фини спектрални разлики на изследваните обекти, допълват методите за изучаване на фини структури, напр. в Христова, 2016.
Към настоящия момент спектралните данни се съхраняват в различни бази данни, някои от тях обединени в спектрални библиотеки, по целия свят. По-голямата част от базите с данни не са общодостъпни. Затова създаването на спектрални библиотеки, които стъпват на регулярни наземни спектрометрични измервания и тяхното организиране и структуриране в бази данни със свободен достъп, е актуална задача за повишаване на достоверността на интерпретацията на спътниковите изображения и дългосрочното използване на данни от дистанционни спектрални измервания.

Най-голямата спектрална библиотека към момента е тази на Американската геоложка служба US Geological Survey /USGS/, която е свързана както с наблюденията на Земята, така и с планирането на мисиите на космическите полети и предоставя възможност за свободен достъп до данни от предишни експерименти (Kokaly et al., 2017). Други спектрални библиотеки са ECOSTRESS Spectral Library (Meerdink et al., 2019) и библиотеката на Arizona State University /ASU/ (ASU, 2021), където са събрани и продължават да се събират спектрални данни от лабораторни и полеви спектрометрични измервания. В Московский государственный университет /МГУ/ е създаден геоинформационен комплекс "Геопортал МГУ", където се предвижда допълването на съществуващата информация със спектрална библиотека (Касимов и др., 2015). Друга спектрална библиотека за съхранение на данни от спектрометрични измервания и свързаните с тях метаданни е SPECCHIO (Hueni et al., 2011). В лабораторията Keck/NASA RELAB (Reflecttance Experiment LABoratory), поддържана от Националната администрация за аеронавтика и космически изследвания на САЩ (National Aeronautics and Space Administration), се провеждат спектрометрични измервания на образци от планетарни мисии, като получените спектрални данни се използват за попълване на спектралната база данни RELAB (RELAB, 2021).

Все още спектралните библиотеки се разработват с помощта на скъпи софтуерни инструменти. За по-широк достъп до спектралните данни, които са необходими за по-добра интерпретация на спътниковите изображения, се налага създаването и структурирането на спектрални библиотеки, използващи софтуер с безплатен и отворен код на достъп (Arumugam et al., 2014).

Данните от дистанционните спектрални измервания, които се включват в спектралните бази данни, респективно в спектралните библиотеки, се получават при in-situ /теренни, полеви, в атмосферата, на водната повърхност/ и лабораторни условия със спектрометри с различна радиометрична, пространствена и спектрална разделителна способност и в различни диапазони от слънчевия електромагнитен спектър. Авторите са установили относно данните и базите от тях, че засега липсва уеднаквен стандарт и терминология и не във всички библиотеки са представени параметрите на самите измервания. Една спектрална библиотека съдържа множество бази данни, в които е описано съответното измерване. След като се проведат спектрометричните измервания в теренни или лабораторни условия, получените спектрални характеристики на изследваните обекти, свързани с метаданните, се въвеждат в базата данни.

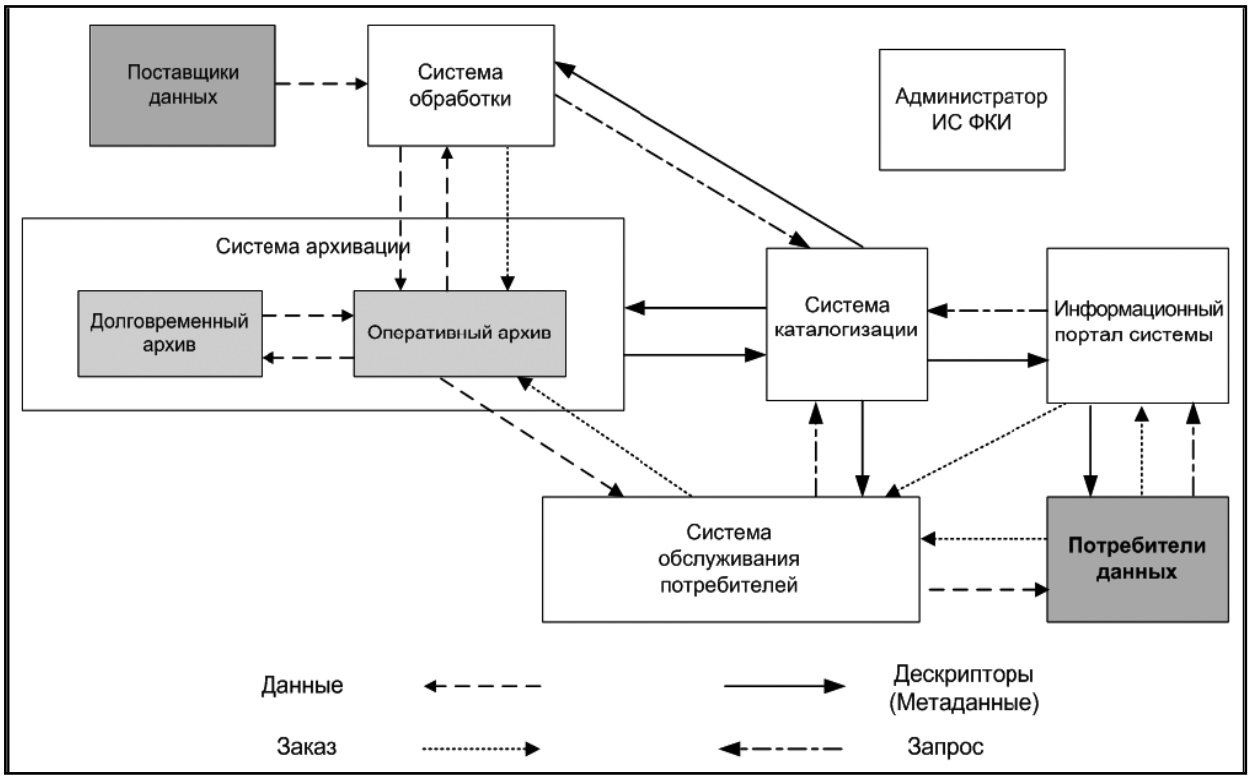
Времето и усилията, които изразходват изследователите за провеждане на дистанционни спектрометрични измервания, предварителна обработка и организиране на получените спектрални данни, осигуряват натрупването на статистически достоверни набори от данни и гарантират доброто качество на спектралните данни. Липсващите метаданни или допълнителна информация би довела до загуба на ценни данни. Също така базите с данни се използват за съхраняване на спектралните данни в подходяща форма. Един пример за такъв вид база данни, структурирана в спектрална информационна система която съдържа спектрални данни, подредени с метаданни като местоположение, информация за сензори, модели на използваните инструменти, земеползване, географско положение на изследваната площ, описание на обекта на изследване и др., е SPECCHIO (Bojinski et al., 2003). Данните са в таблици, които са свързани в обща система. В базата данни може да се заяви да се покаже спектралната информация заедно с дата, час, местоположение, тип инструмент, спектрални канали на инструментите и други от собствени експерименти. Спектралните данни, изискани от изследователите, могат впоследствие да бъдат изтеглени на техните работни станции. Подходът на централизираната база данни на описаната система улеснява споделянето на данни от теренните измервания при различни изследвания и гарантира пълнотата на данните.

Дългосрочното използване на данните от проведени дистанционни изследвания е свързано със структуриране на данните в спектрални библиотеки, което се различава от структурата на една база с данни. Спектралните библиотеки включват най-малко една база данни. Една възможна схема на спектрална база данни е представена на Фигура 1.



Фигура 1. Схема на структура на база данни

Също така създаването на специализирана информационна система, каквато е една спектрална библиотека, е необходима част от фундаменталните космически дистанционни изследвания. Съществуват мощни системи, които поддържат архиви от данни от космически изследвания. В сравнение с тях спектралната библиотека изисква по-малък информационен ресурс, но също така трябва да се осигури надеждно и дългосрочно съхраняване на данните, достъп през цялото време на съхранение, възможност на крайния потребител да използва спектралните данни в архива. На Фигура 2 е представена схема на информационна система (Саворский и др., 2011).



Фигура 2. Базова архитектура и схема на връзките в информационна система /ИС/ за фундаментални космически изследвания /ФКИ/

Има различни концепции за структурата на спектралните бази данни и на спектралните библиотеки. В областта на дистанционните спектрометрични измервания една база със спектрални данни би трябвало да има следните характеристики, описани в (Hueni et al., 2009).

- Логически отношения и последователност: За да се установи връзка между спектралните данни и спектралната информация, е необходимо да се предвиди в структурата на базата от данни да се съдържат по подразбиране общите атрибути на отделните спектрални характеристики. Всеки набор от спектри, съхраняван в спектралната база от данни, трябва да е ясно описан със съответните стандарти за улеснен достъп до информация чрез уеб интерфейс. Това се прави, за да се запази качеството на данните и да се оптимизира изобилието в базата данни.
- Интуитивен интерфейс: Основна задача при планирането и създаването на структура на база данни със свободен достъп е улесняването на получаването на спектралната

информация. Новото въвеждане на данни в базата данни може да изисква допълнителни инструкции, които да се предоставят чрез интернет-странницата на базата със спектрални данни или на спектралната библиотека.

- Гъвкавост към промените в научния контекст: Метаданните и допълнителните данни представляват информация относно проведените спектрометрични измервания и получените спектралните данни. Наборът от тези атрибути в спектралната база данни може да осигури необходимата на потребителите тематична информация за спектралните данни.
- Независимост на файловия формат: Честата промяна на форматите на спектрални данни и разнообразието от инструменти изисква максимална гъвкавост на въвеждане и извеждане на спектралните данни в спектралната база данни или спектралната библиотека.
- Мащабируемост: Съхранението и управлението на спектралните данни в спектралната библиотека е ограничено само от размера на диска. Достъпът до информацията е ограничен от мрежовата среда.

Заключение

Направеното проучване относно дългосрочното ползване на данни от дистанционни спектрални измервания и тяхното споделяне, досегашният опит на авторите, проведените дистанционни спектрометрични измервания, получените спектрални данни, възможностите на наличните информационни системи в секция "Системи за дистанционни изследвания" от Института за космически изследвания и технологии към Българска академия на науките, насочват към планирането на създаване на тематична спектрална библиотека като база от данни със свободен достъп след регистрация. За лесен достъп до спектралните данни се налага използването на софтуер с отворен код, прости текстови версии на спектралните данни и техните визуализации, текстови файлове във формат HyperText Markup Language (HTML).

Благодарности

Проучването е проведено във връзка с проект, финансиран по Договор № КП-06-М27/2 с Фонд "Научни изследвания" /ФНИ/.

Литература

Arumugam, R. A. Developing Web-Enabled Spectral Library Architecture Using Free and Open Source Software (FOSS). Master Thesis. Forestry and Ecology Department, Indian Institute of Remote Sensing, ISRO, Dept. of Space, Govt. of India Dehradun, pp.53, (2014).

ASU - Spectral Library, http://speclib.asu.edu/, юни 2021, (2021).

Bojinski, S., Schaepman, M., Schlaepfer, D. and Itten, K. SPECCHIO: a spectrum database for remote sensing applications. Computers & Geosciences, 29, pp.27-38, (2003).

Hueni, A., Malthus, T., Kneubuehler, M., and Schaepman, M. Data exchange between distributed spectral databases. Computers & Geosciences, 37(7), pp.861-873, (2011).

Kokaly, R., Clark, R., Swayze, G., Livo, K., Hoefen, T., Pearson, N.., Wise, R., Benzel, W., Lowers, H., Driscoll, R., and Klein, A. USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035. USGS, pp.61, (2017).

Meerdink, S. K., Hook, S. J., Roberts, D. A., & Abbott, E. A. The ECOSTRESS spectral library version 1.0. Remote Sensing of Environment, 230 (111196), pp.1–8, (2019).

RELAB Spectral Database, http://www.planetary.brown.edu/relab/, юни 2021, (2021).

Касимов, Н.С., Голубева, Е.И., Лурье, И.К., Зимин, М.В., Самсонов, Т.Е., Тутубалина, О.В., Рис, У.Г., Михеева, А.И., Аляутдинов, А.Р. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре геопортала МГУ имени М.В. Ломоносова. Вестн. Моск. ун-та, сер. 5, География, № 5, стр.3-8, (2015).

Саворский, В.П., Аквилонова, А.Б., Кибардина, И.Н., Лупян, Е.А., Назиров, Р.Р., Панова, О.Ю., Петрукович, А.А., Смирнов, М.Т. Проект ЕИС ФКИ. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Том 8, № 3, стр.147-154, (2011).

Христова, В. Извличане на информация за пътните структури и съоръжения от самоорганизираща се мрежа. Механика, транспорт, комуникации“, том 14, брой 3/2, статия № 1375, стр. IX-18:IX-21, (2016).

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N14

Climate, weather and energy production from photovoltaic system mounted on innovative, demonstrative pavilion in Sofia, Bulgaria for 2020

Iliana Popova[1], Krasimir Georgiev[2], Lyubomir Angelov[3], Miglena Nikolaeva-Dimitrova[4], Maya Stoyanova[5],

[1] *Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, Bulgarian Academy of Sciences, Tzarigradsko chaussee, Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria, iliana79@abv.bg*
[2] *Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, Bulgarian Academy of Sciences, Tzarigradsko chaussee, Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria, krasimir.georgiev@gmail.com*
[3] *Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, Bulgarian Academy of Sciences, Tzarigradsko chaussee, Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria, l.angelov@yahoo.com*
[4] *Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, Bulgarian Academy of Sciences, Tzarigradsko chaussee, Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria, miglena.nikdim@gmail.com*
[5] *Central Laboratory of Solar Energy and New Energy Sources, Bulgarian Academy of Sciences, Tzarigradsko chaussee, Blvd. 72, 1784 Sofia, Bulgaria, mayasto@abv.bg*

Key words: Green energy, Photovoltaics, Renewable sources, PV system, Meteorological data

Abstract

Seeking of Europe to reduce carbon gas emissions and a clean environment offers opportunities to increase the use of renewable sources. The innovative Demonstration Pavilion in the Scientific Complex II of BAS in Sofia is such an example. The meteorological data for 2020, obtained from measuring devices installed on the roof of the Demonstration Pavilion, are analyzed and the production of electricity from the PV system installed on the roof is estimated. The annual production by months of the received electricity from PV system is presented, depending on the climatic conditions.

Климат, време и производство на енергия от PV система монтирана на иновативен демонстрационен павилион в София.

Илиана Попова[1], Красимир Георгиев[2], Любомир Ангелов[3], Миглена Николаева-Димитрова[4], Мая Стоянова[5],

[1] *Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН, Цариградско шосе 72, 1784 София, iliana79@abv.bg*
[2] *Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН, Цариградско шосе 72, 1784 София, krasimir.georgiev@gmail.com*
[3] *Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН, Цариградско шосе 72, 1784 София, l.angelov@yahoo.com*
[4] *Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН, Цариградско шосе 72, 1784 София, miglena.nikdim@gmail.com*
[5] *Централна лаборатория по слънчева енергия и нови енергийни източници, БАН, Цариградско шосе 72, 1784 София, mayasto@abv.bg*

Ключови думи: Зелена енергия, Фотоволтаици, възобновяеми източниц, PV система, Метеорологични данни

Резюме

Стремежът на Европа към намаляване на вредните емисии и чиста околна среда, предлага възможности за увеличаване използването на ВЕИ. Построеният иновативен демонстрационен павилион в Научния комплекс II на БАН в София е такъв пример. Анализирани са метеорологичните данни за 2020 г., получени от измервателни уреди монтирани на покрива на Демонстрационния павилион и е оценено производството на електроенергия от PV системата монтирана на покрива. Представено е годишното производството по месеци на получената електроенергия от PV система, в зависимост от климатичните условия.

The innovative demonstrative pavilion in Sofia

The innovative demonstrative Pavilion is situated in the Scientific campus II of Bulgarian Academy of Sciences in Sofia. The pavilion (Pic. 1.) is a temporary building, which relies on a supporting steel construction the building is oriented in clear geographic directions east-west, north-south. The east, west and south facades are transparent and built with Fluid flow glazing (FFG) system. In addition, there are internal partition wall. North façade is opaque and contains the entrance door and the installation block.

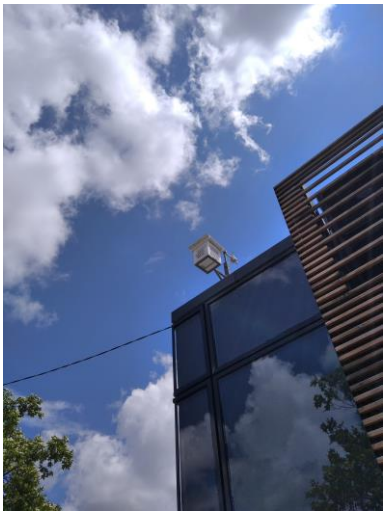


Pic. 1. Innovative demonstrative pavilion in the Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

With total 63m² of external FFG the glass façade to floor area ratio is 63/30.2 = 2.08. The total area of internal FFG wall is 19 m².
On the roof of the pavilion 18 c-Si Photovoltaic (PV) modules in total installed capacity 5.040 kWp are mounted. (see pic. 2.) The panels are oriented south with 10 degree inclination from the surface related to the limited space and shadows, on grid connection. [1]



Pic. 2. PV system on the roof of the innovative pavilion Sofia with installed capacity 5.04 kWp



Pic. 3. Meteo Station is mounted on the roof innovative pavilion Sofia for monitoring Relative Pressure, Outdoor Humidity, Temperature, Wind, Dewpoint Gust, Rain and etc .

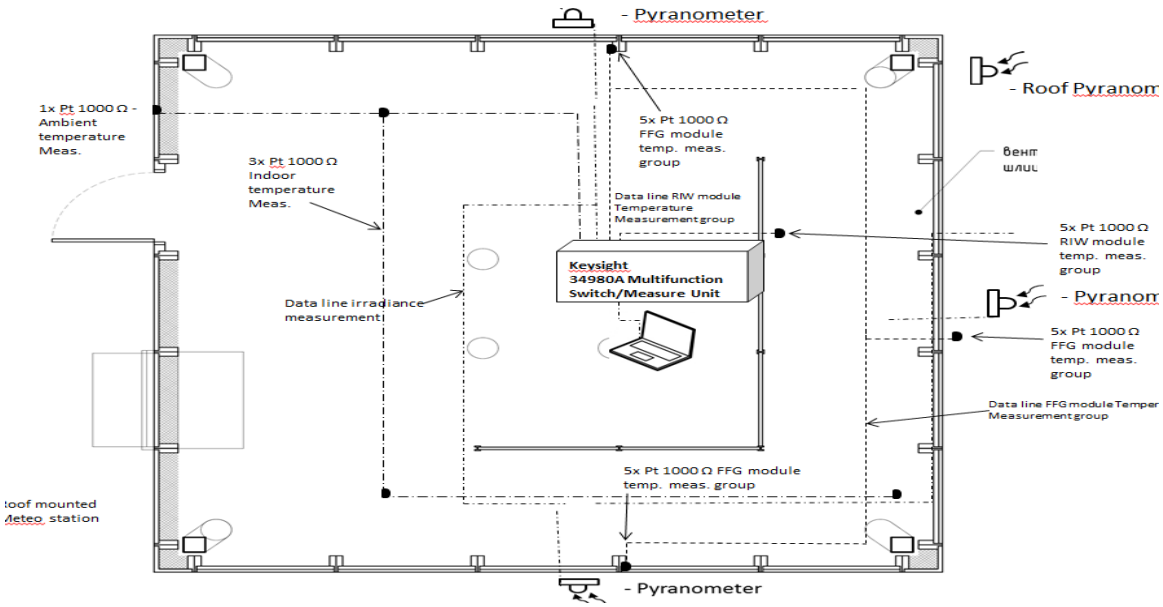


Fig. 1. Scheme of the system for monitoring of incident/transmitted solar radiation, FFG module and room temperature of the innovative demonstrative pavilion (Project Documentation, Project ref. 680441)

On each facade internal and external, the pyranometers are mounted to measure the total irradiance incoming to the façade. The temperature sensors over a distance of 0.7 m in height (Pt 1000; class A) are installed on a single FFG module on every facade. All temperature and radiation data are collected by data acquisition system Keysight Technologies 34980A (see fig. 1.). Meteo Station is mounted on the roof for monitoring Relative Pressure, Outdoor Humidity, Temperature, Wind, Dewpoint Gust, Rain and etc (see pic. 3.). The data are registered in the system at every 5 minutes.

Monitoring of the Meteorological elements and PV energy production

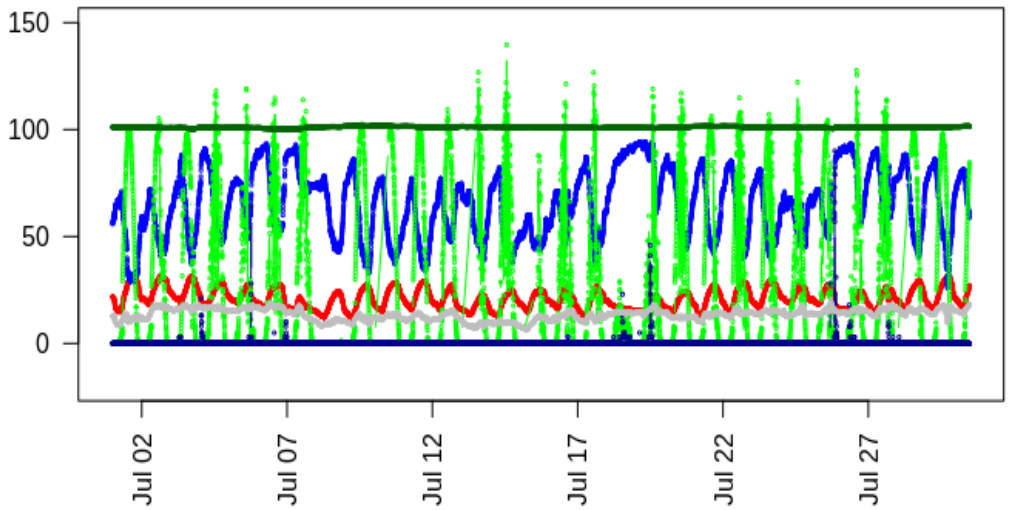


Fig. 2. Meteorological elements recorded from Meteo station on the roof of the pavilion during July 2020 at every 5 minutes

Red dots - presented Outdoor Temperature in °C
Blue dots - Outdoor relative humidity in %
Green dots - Solar radiation in W/m^2 has to be multiply x 10
Dark blue dots - Relative Rain in mm has to be devided by 10
Dark green dots - Relative Pressure in hPa has to be multiply x 10
Grey dots – Dewpoint in °C

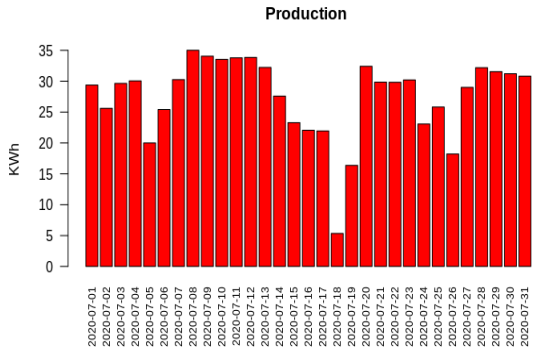


Fig. 3. Energy production from PV system mount on the roof of the Pavilion during July 2020

Month July is usually warm, sunny month with maximal temperature 32 °C and minimal temperature 11.3 °C for 2020 recorded on the meteorological station on the roof. Mean outdoor temperature is 20.9 °C. Relative pressure is between 1001 and 1017 hPa. The mean pressure in July is 1011 hPa. The relative humidity is between 26 % (sunny days) and 94 % (cloudy, rainy days) with mean humidity in July 65 %. The dewpoint is between 6 and 19 °C. With mean value 13.8° C. The piranometer shows solar irradiation with maximal value approximately 1200 – 1300 W/m^2 in sunny days. (see fig. 2.)

Rain occur in 3,4,6,7, 17,18,19,20,26,27 and 28 July 2020, the total perspiration is approximately 100 mm for the hole month . Cloudy and rainy days witch significantly affected the PV energy production are just 18,19 and 26 July 2020
In Sunny days, the PV production is more than 30 kWh per day. In cloudy rainy days the energy production is less than 10 kWh. The total energy production during July 2020 is 853 kWh (see fig. 3.)
This is example for one month monitoring. Monitoring data are 24/7 and free under project InDeWaG and they are used for diferent estimations.

Energy production from PV system of 5.040 kWp for 2020 in Sofia

The year 2020 for Sofia, Bulgaria, is with mean temperature approximately 11 °C (see https://www.stringmeteo.com/synop/temp_year.php?year=2020&month=1&len=12&an_per=6190&ord=num&submit=%D0%9F%D0%9E%D0%9A%D0%90%D0%96%D0%98#sel)

Energy production by months for 2020 in Sofia are presented on fig. 4. For the whole year total energy production from the PV system on the roof is 5840 kWh.
The hottest month is august with mean temperature approximately 21.5 °C. The energy production is 800 kWh . The coldest is January with mean temperature close to 0 °C. The production in January is 150 kWh,
This year is only the first year of monitoring of the innovative pavilion. The monitoring of the pavilion will continue in the next 4 years.

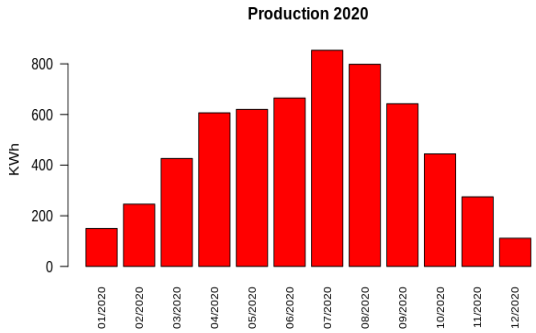


Fig. 4. Energy production from PV system mount on the roof of the Pavilion during 2020 year

Acknowledgments

This work was supported by the Horizon 2020 Program - 'Secure, clean and efficient energy'. The Program has three focus areas: Energy-efficiency, Low carbon technologies, and Smart Cities & Communities. Project ref. 680441 InDeWaG: Industrialized Development of Water Flow Glazing Systems.

References:

[1]. M. Nikolaeva-Dimitrova, M. Stoyanova, Pl. Ivanov, K. Tchonkova, R. Stoykov, Investigation of thermalbehaviour of innovative Water Flow Glazing modular unit., Alternative Energy Sources, Materials & Technologies (AESMT'18).

Webpage name, http://www. (accessed Date)
https://www.stringmeteo.com/synop/temp_year.php?year=2020&month=1&len=12&an_per=6190&ord=num&submit=%D0%9F%D0%9E%D0%9A%D0%90%D0%96%D0%98#sel (in Bulgarian 30.5.2020)
Project ref. 680441 InDeWaG: Industrialized Development of Water Flow Glazing Systems.

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.

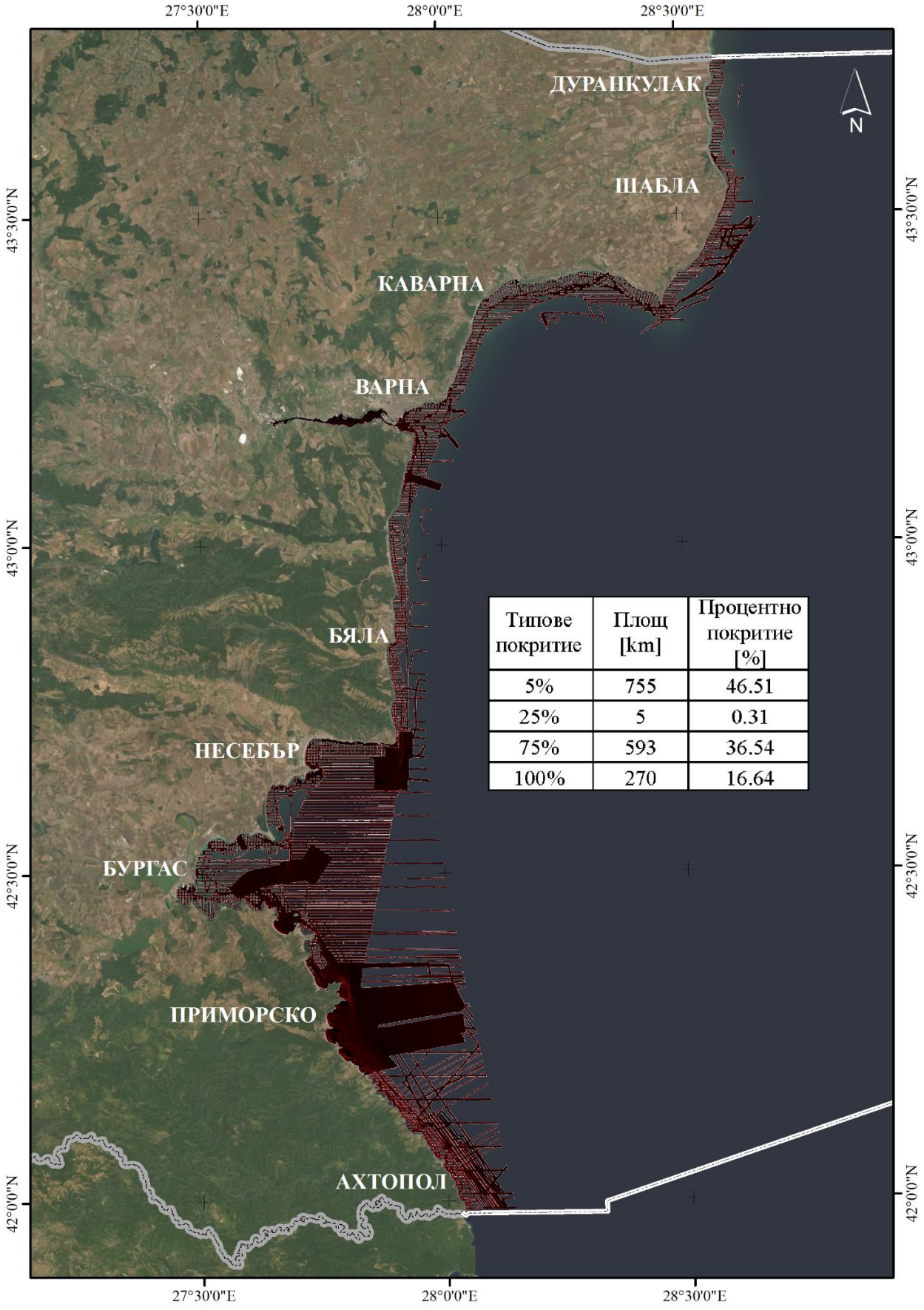
Сателитна батиметрия (Satellite-Derived Bathymetry - SDB). Две нови, съвременни техники за картографиране на морското дъно се използват предимно в крайбрежната зона. Събирането на батиметрични данни с плавателни съдове в плитки води е значително по-трудоемко и опасно от събирането в дълбоки води. Сателитната 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.



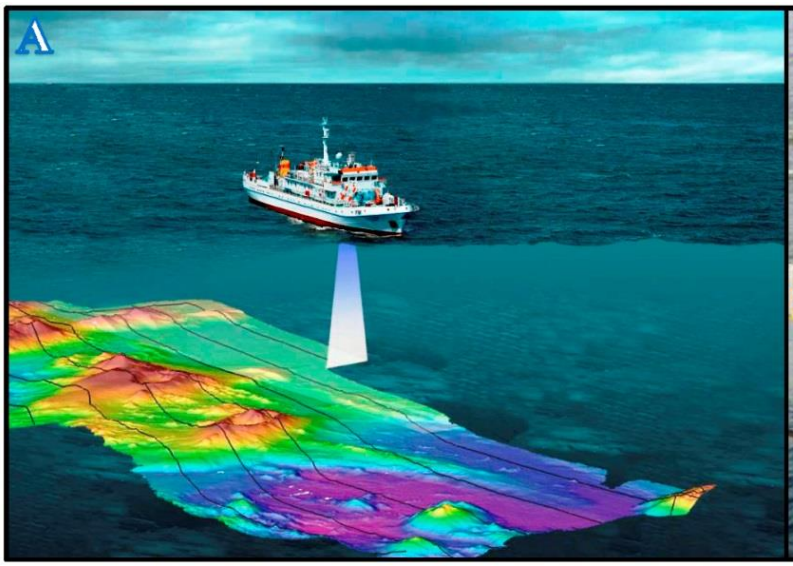
Типове покритие	Площ [km]	Процентно покритие [%]
5%	755	46.51
25%	5	0.31
75%	593	36.54
100%	270	16.64

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

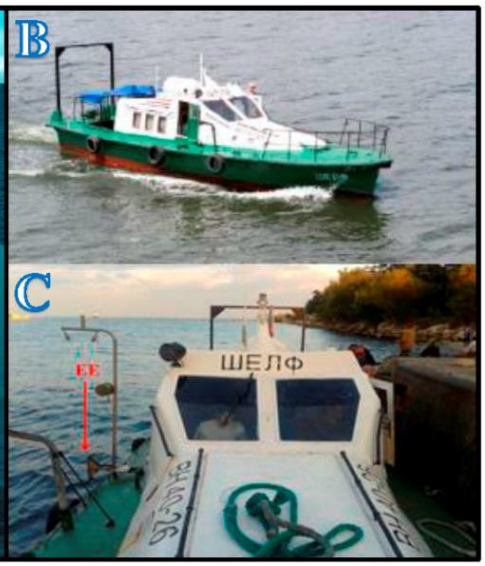
Изследвания с еднолъчев ехолот. За съжаление, по-голямата част от БЧКЗ не е пълноплощно картирана. През 2013 г. МОСВ на Република България възлага на ИО-БАН изготвянето на „Доклад оценка на екологичното състояние на морските води (РДВ)“. Извършено е батиметрично заснемане на крайбрежните морски води 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].

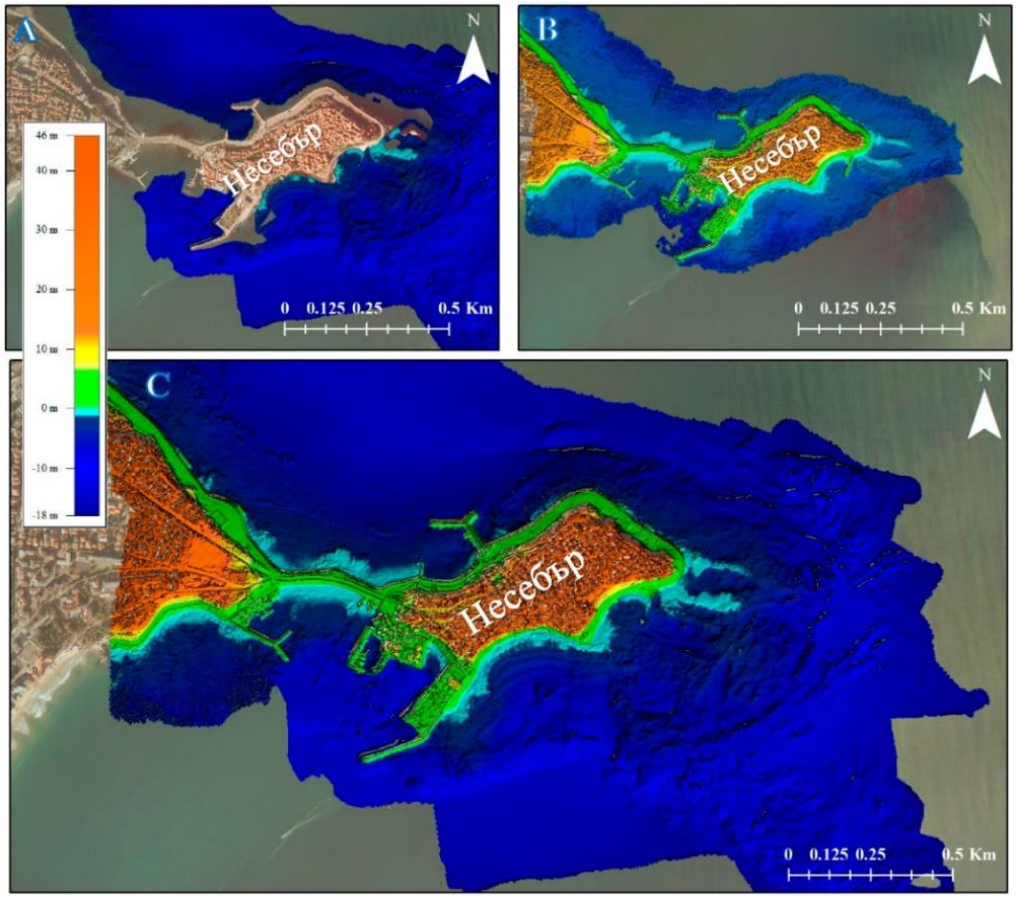
В рамките на БЧКЗ най-разпространени са изследвания с ***многолъчеви ехолоти (МЕ) или многолъчеви сонарни системи (МСС)***. Широкото им приложение в геологията [5], [6], [11], [33], [34] и геоморфоложкото картиране [4], [19], [21], [32], [35] дава допълнителна информация при изследването на подводното 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.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N16

Geophysical fields in the Eastern Rhodopes Mountain and their connection to the rocks lithological-petrographic characteristics and the geological structures

Atanas Kisyov[1]

[1] University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Applied Geophysics, e-mail: at.kisyov@gmail.com

Key words: potential fields, predicting, gravity field, aero-gamma spectrometry

Abstract
The process of solving all predictive tasks is always, to one degree or another, associated to an element of ambiguity. For example, the traditional concept of metallogenic prediction is based on the idea that taking into account only a few basic geological factors, the problem can be most effectively solved regardless of the fact that virtually all geological and geophysical data are statistical in nature. In addition, the functional relationships between the geological and geophysical parameters and the ore deposits are complex and multivariate. Therefore, the idea of directing the prediction strategy to the complex processing and analysis of all available information and determining the relationship between the structure of the studied fields (geophysical, geological, geochemical, etc.) and the specific geological conditions is becoming more and more convincing. The use of transformations of potential fields is widely used in order to determine the effect of various geological anomalies.

Геофизични полета в Източни Родопи и връзката им с литолого-петрографските характеристики на скалите и геоложките структури

Атанас Кисьов[1]

[1] Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофизика", e-mail: at.kisyov@gmail.com

Ключови думи: потенциални полета, прогнозиране, гравитационно поле, аеро-гама спектрометрия

Резюме
Решаването на всички прогнозни задачи е винаги, в една или друга степен, свързано с елемент на неопределеност. Например традиционната концепция за металогенно прогнозиране се основава на представата, че при отчитане само на няколко основни геоложки фактора най-ефективно може да се реши задачата независимо от обстоятелството, че практически всички геоложки и геофизични данни по своята природа имат статистически характер. Освен това функционалните връзки между геоложките и геофизичните параметри и орудяванията са сложни и многовариантни. Ето защо все по-убедително се налага идеята за насочване на стратегията на прогнозирането към комплексното обработване и анализиране на цялата налична информация и определяне на взаимна връзка между структурата на изследваните полета (геофизични, геоложки, геохимични и др.) и конкретните геоложки ситуации. За определяне на ефекта от различни геоложки смутители широко приложение намира използването на трансформации на потенциалните полета.

Източници на аномалии в Родопския масив

При геофизичните изследвания геоложките изводи се основават на резултатите от анализа и обработката (Tzankov, 2015) на изучаваните физически полета. При разглеждането на тези полета широко се използва понятието "геофизични аномалии", което се определя като отклонение на стойностите от нормалното поле, съответстващо на еднородния строеж на съответния участък от земната кора.
За формирането на геофизичните аномалии имат значение не само абсолютните стойности на физическите параметри на скалите, но и геоложките структури, в които те се намират. Ако скалите се различават по стойностите на физическите параметри, то обикновено не възникват затруднения при анализа на източниците на аномалии. Особено важна е ситуацията, когато средните стойности на плътността или намагнитеността не се отличават съществено и различията във физическите полета

следва да се търсят в различната структура на скалите, особеностите на геоложките неоднородности и други фактори.

В структурния геоложки строеж на Родопския масив гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс заемат важно място. За гнайсите е характерен разнообразният състав и неоднородност, което се отразява в значителен диапазон на вариации на плътността и магнитната им възприемчивост и съответно на различния характер на гравитационното и магнитно поле над тях. В регионален план гнайсите имат относително най-висока плътност. В общи. линии разпределението на гравитационното поле над тях се диктува от докамбрийския структурен план на Родопския масив.

На територията на Родопския масив, особено в западната му част, широко разпространение имат гранитоидите. Те са представени от южнобългарските и пирински гранити, които често се намират в сложни преходи с гнайсите. Гранитоидите се характеризират с понижение плътността по отношение на гнайсите от докамбрийския метаморфен комплекс и се отделят с добре обособени отрицателни гравитационни аномалии.

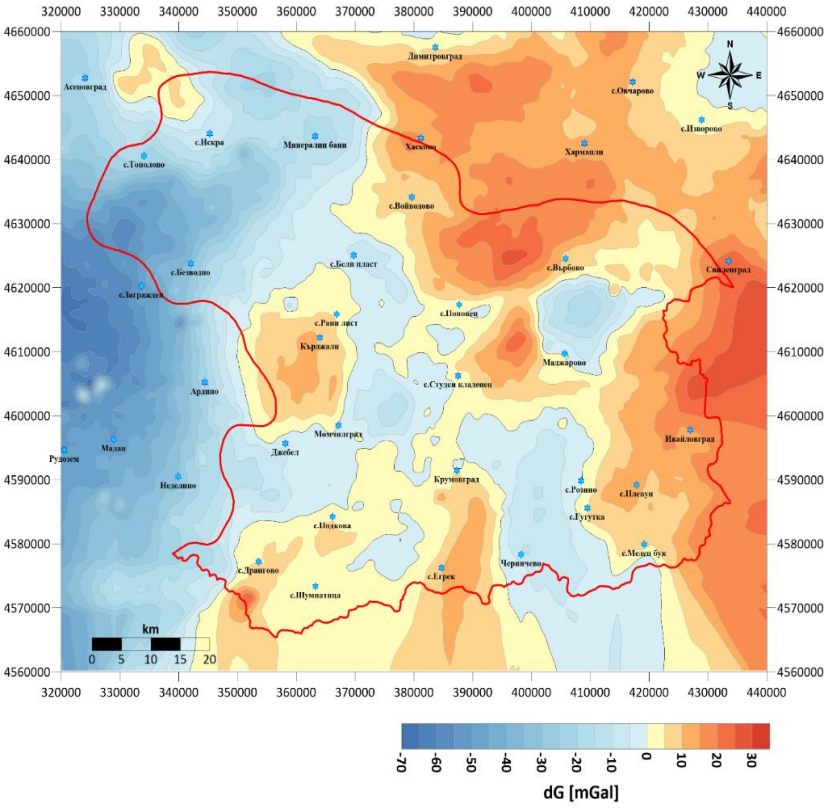
По магнитна възприемчивост гранитите практически не се различават от гнайсите, което намира потвърждение и върху картата на магнитното поле.

Скалите от седиментния комплекс, които широко застъпени в между планинските котловини на Родопския масив, се характеризират с понижена плътност и формират добре обособени отрицателни гравитационни аномалии. Ефузивните скали от алпийския комплекс на Родопския масив имат относително понижени плътности, което се отразява върху картата на гравитационното поле чрез формиране на отрицателни аномалии в районите, където проявленията им са с относително голяма дебелина. С повишената магнитна възприемчивост на тези скали са свързани някои положителни аномалии.

Съществено влияние върху гравитационното и магнитното поле оказва сложната разломна тектоника на Родопския масив (Georgieva and Nikolova, 2013).

Разломните проявления от различен порядък намират потвърждение върху гравитационната карта. Разломите с дълбоко заложение се маркират с добре изразени гравитационни преходи на регионалното поле. Разломите от по-нисък порядък се локализират с по-слаби преходи или изтеглени аномални зони.

Обща характеристика на потенциалните полета за територията на Източни Родопи



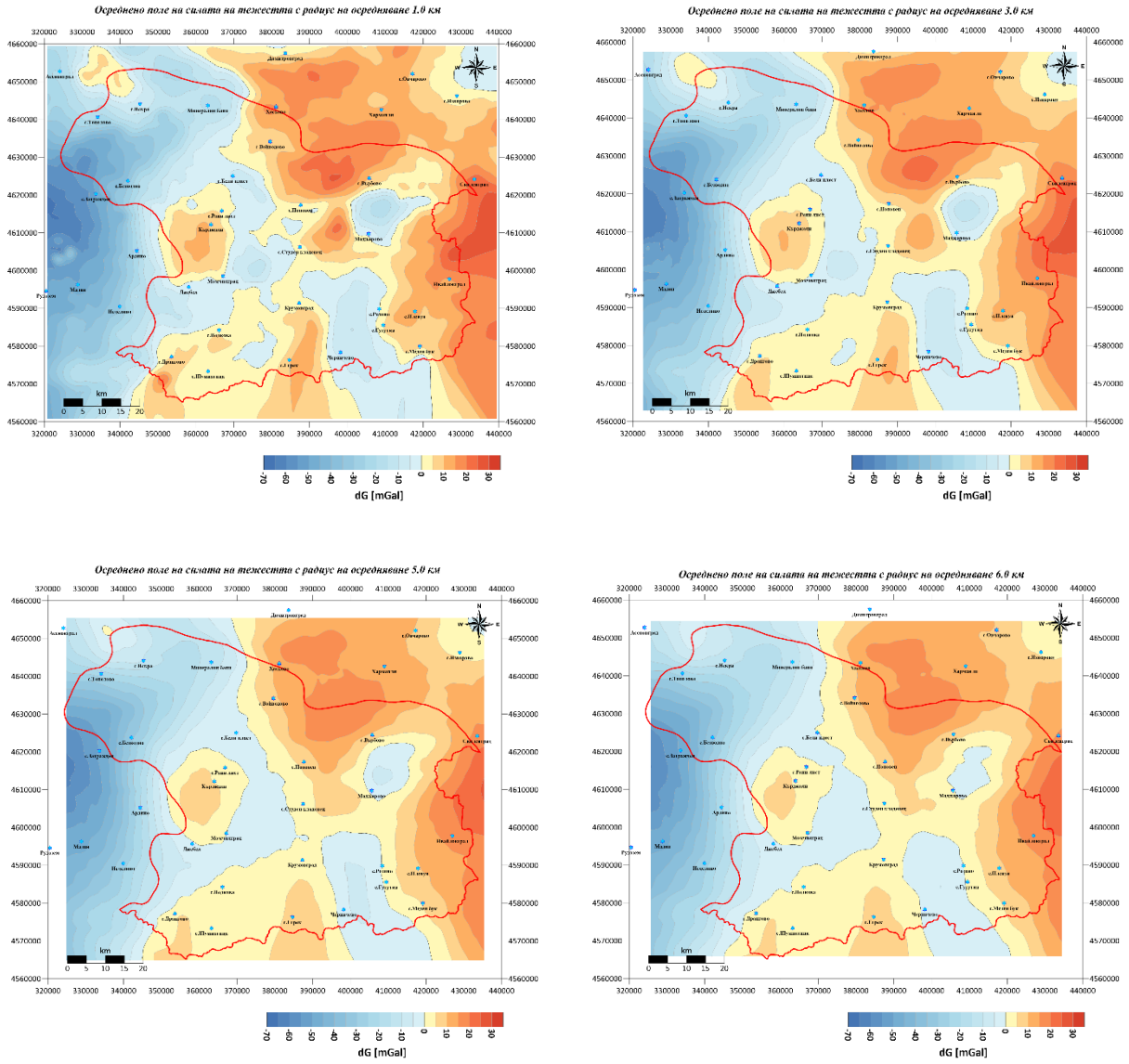
Фиг. 1. Карта на разпределението на гравитационно поле (аномалии Буге) за територията на Източнородопския район

Наблюдаваното гравитационно поле в аномалии Буге за територията на Родопския масив най-обобщено се характеризира със съчетаване на добре обособена, обхващаща Западни Родопи зона с понижени стойности на Δg и положително поле в Източнородопския район, разделен от интензивен гравитационен преход със субмеридионално простиране. Аномалиите от първи порядък са усложнени от многочислени аномалии от по-висок порядък с линейна и изометрична конфигурация, което придава на наблюдаваното поле сложен мозаичен вид (Фиг.1).

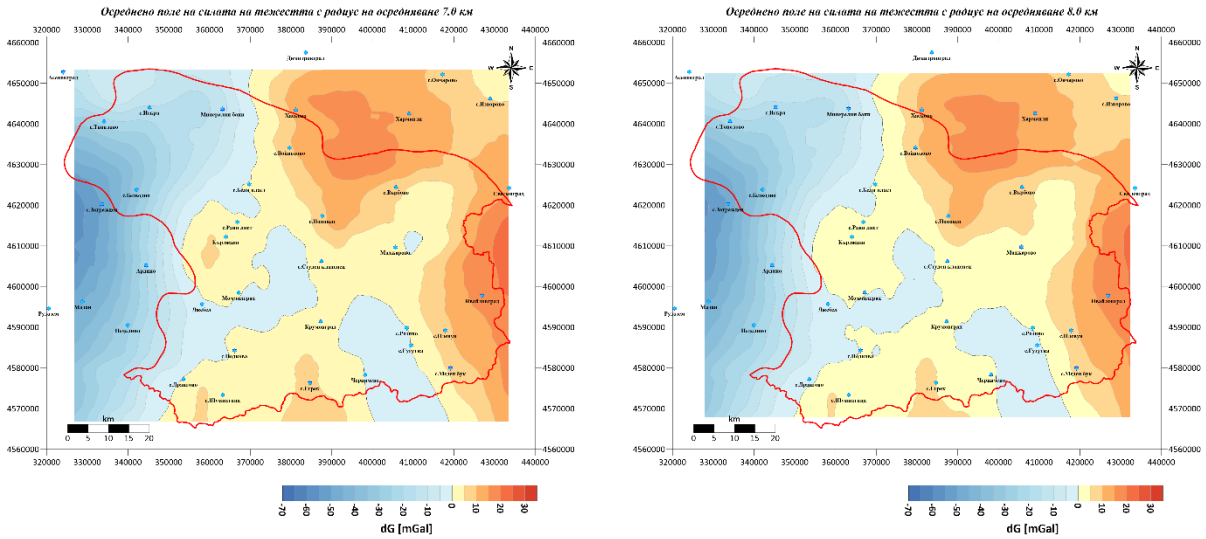
Съставните характеристики на гравитационното поле се изследват чрез неговите трансформации. Регионалните съставки намират отражение в осреднените полета и пренесените в горното полупространство стойности на наблюдаваното поле. Локалните аномалии се изявяват в остатъчните полета от осредняването и аналитичното продължение в горното полупространство, във вариационните карти по Андреев-Грифин, вертикалните производни на полето и пренасянето му в долното полупространство (Радичев и Димовски, 2003; Димовски и Радичев, 2004).
Анализът на трансформираните полета при различни радиуси на осредняване и нива на пренасяне утвърждава следните закономерности в гравитационното и магнитно поле на Източни Родопи.
Върху осреднено поле на силата на тежестта, което отразя главно разпределението на плътностните маси, на дълбочини няколко километра, се отделят два региона - западен с отрицателни стойности на полето и източен - с положителни (Фиг. 2 и 3).

Рило-Западнородопската аномалия е напълно оформен елемент на регионалното гравитационно поле на територията на България. Тя се отделя с добре очертани гравитационни преходи, има северозападно простиране и заема територия от приблизително около 12 000 км^2.

Източната положителна регионална зона обхваща Източни Родопи и Сакар. Тя се ограничава от запад, северозапад и север с интензивни гравитационни преходи, а на изток остава отворена. Областта на Сакарската антиклинала оформя относителен минимум с изометрична форма, който се обуславя от дълбоко заложеното й гранитно ядро.



Фиг. 2. Разпределение на осреднено поле на силата на тежестта при радиус на осредняване 1, 3, 5, 6 км



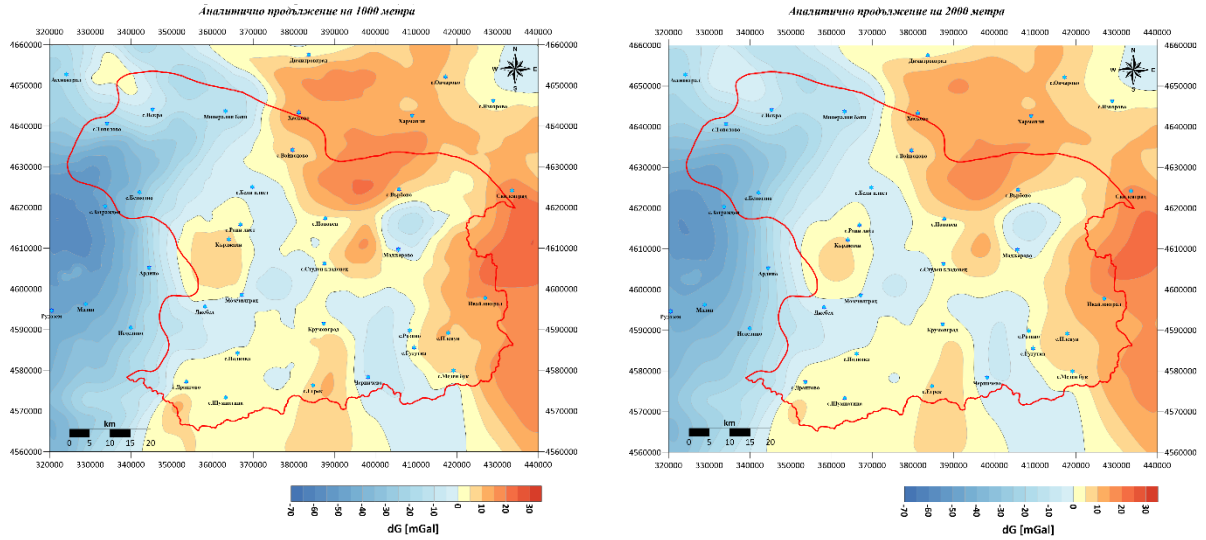
Фиг. 3. Разпределение на осредненото поле на силата на тежестта при радиус на осредняване 7 и 8 км

Полето на силата на тежестта при аналитично продължение в горното полупространство съдържа регионалните особености на осредненото поле, като амплитудата на аномалиите е по-малка (Фиг. 4 и 5). Бързо намалява хоризонталният градиент на гравитационните преходи и особено този на Централнородопския.

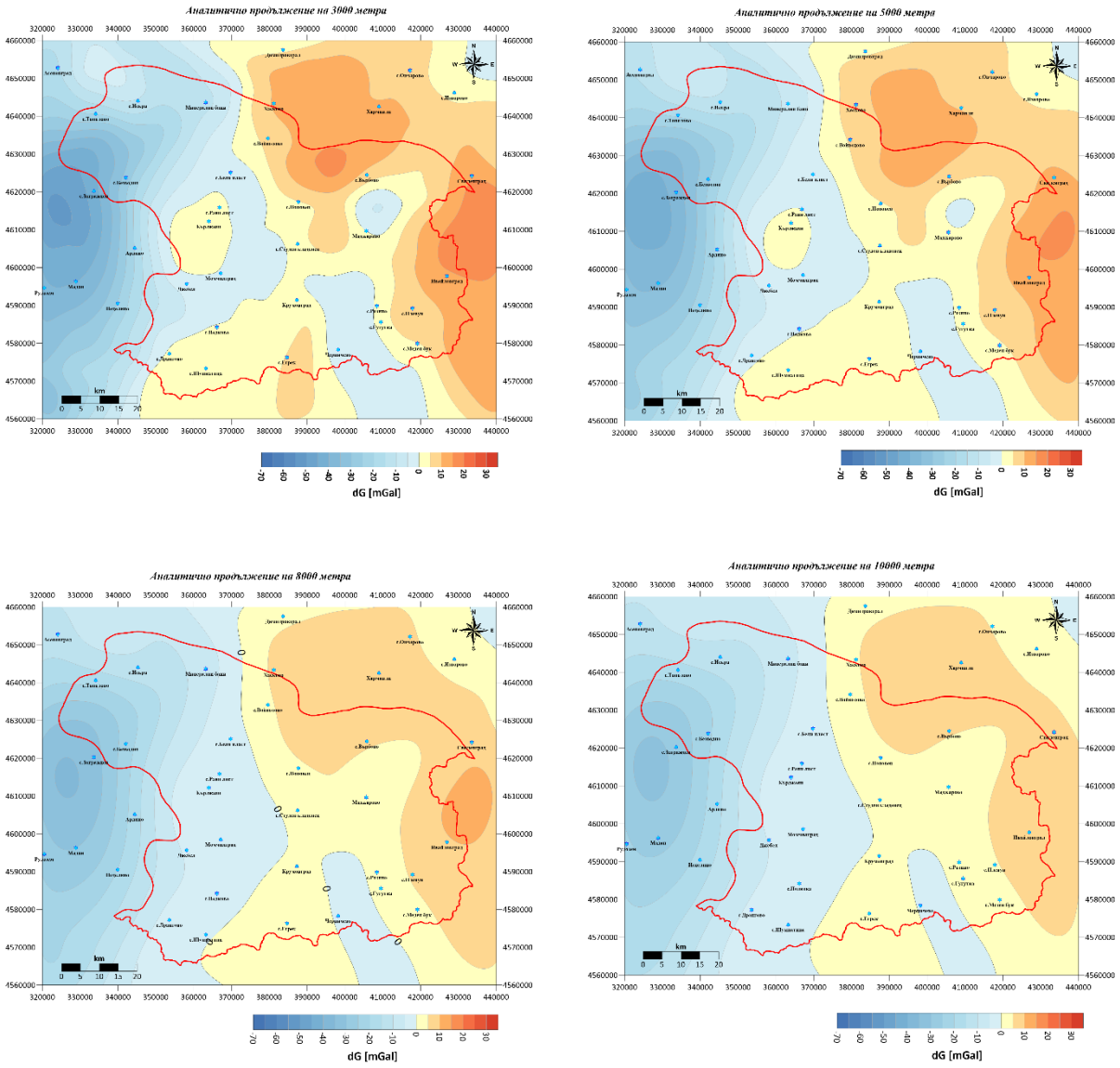
Разпределението на вертикалната производна на силата на тежестта отрязва влиянието на повърхностните зони (с дълбочинност до около 5 км.), като регионалният гравитационен ефект е силно ретуширан. Локалните аномалии се представляват на фона на окрупнените структурни, елементи на Родопския масив, като Рило-Западнородопския антиклинорий, Централнородопския антиклинорий, Източнородопския антиклинорий, Момчилградското понижение. Добро проявление като напречна структура има Брацигово-Доспатското понижение.

Вариационните аномалии по метода на Андреев-Грифин (Фиг. 6) както и остатъчните гравитационни полета от аналитичните продължения в горното полупространство (Фиг. 7) и от аритметичното осредняване отразяват тектонския строеж на приповърхностните структури на земната кора, включително до съвременния ерозионен срез.

Трансформираните полета взаимно се допълват по информативност. Най-обобщено по степен на локализация на аномалиите те се подреждат съответно: остатъчното поле от аналитичните продължения в горното полупространство, вариационните аномалии по Андреев-Грифин, остатъчното поле от осредняването (Димовски и Радичев, 2004).

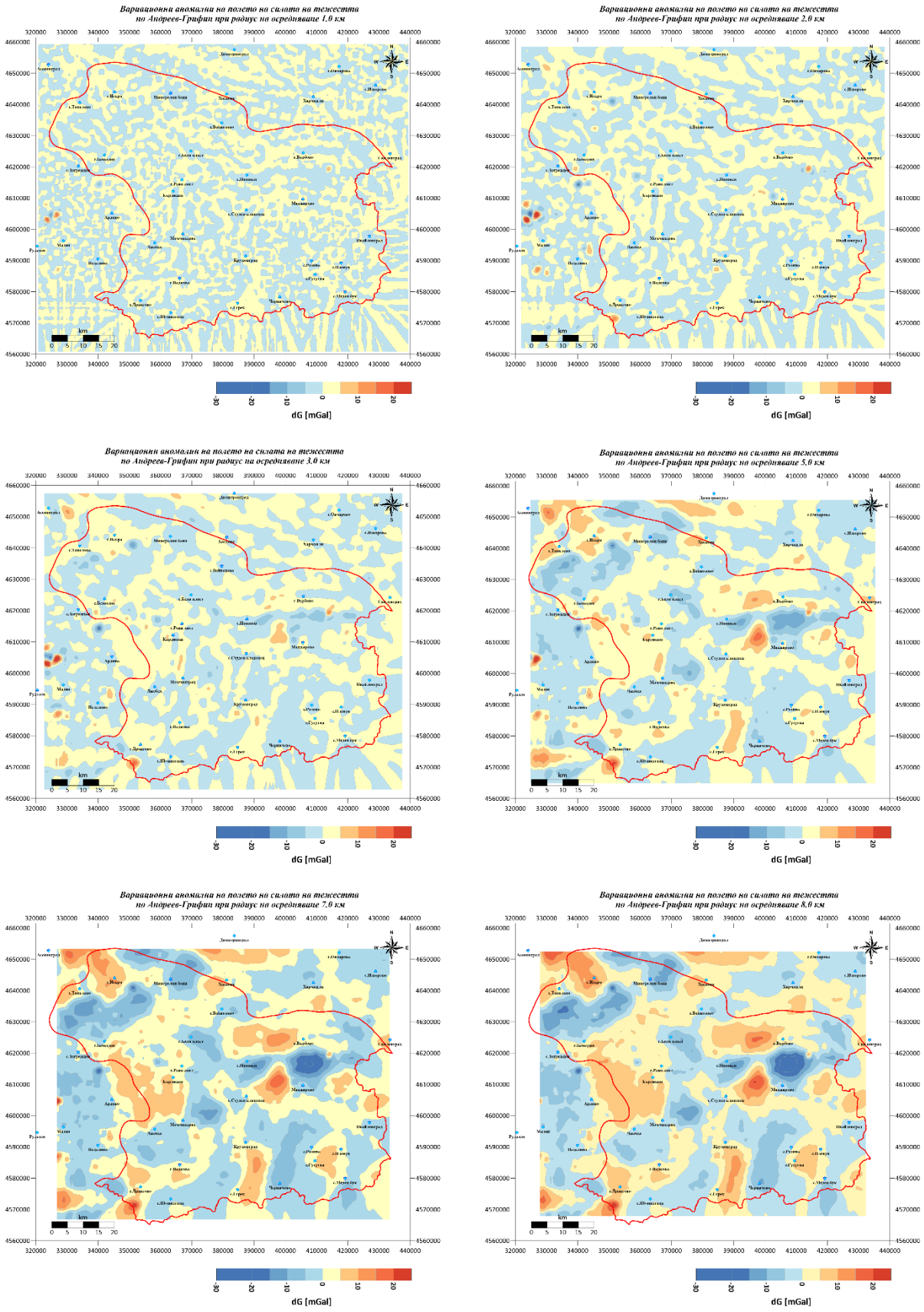


Фиг. 4. Разпределение на аналитично продължение на гравитационно поле в горното полупространство, на 1 и 2 км

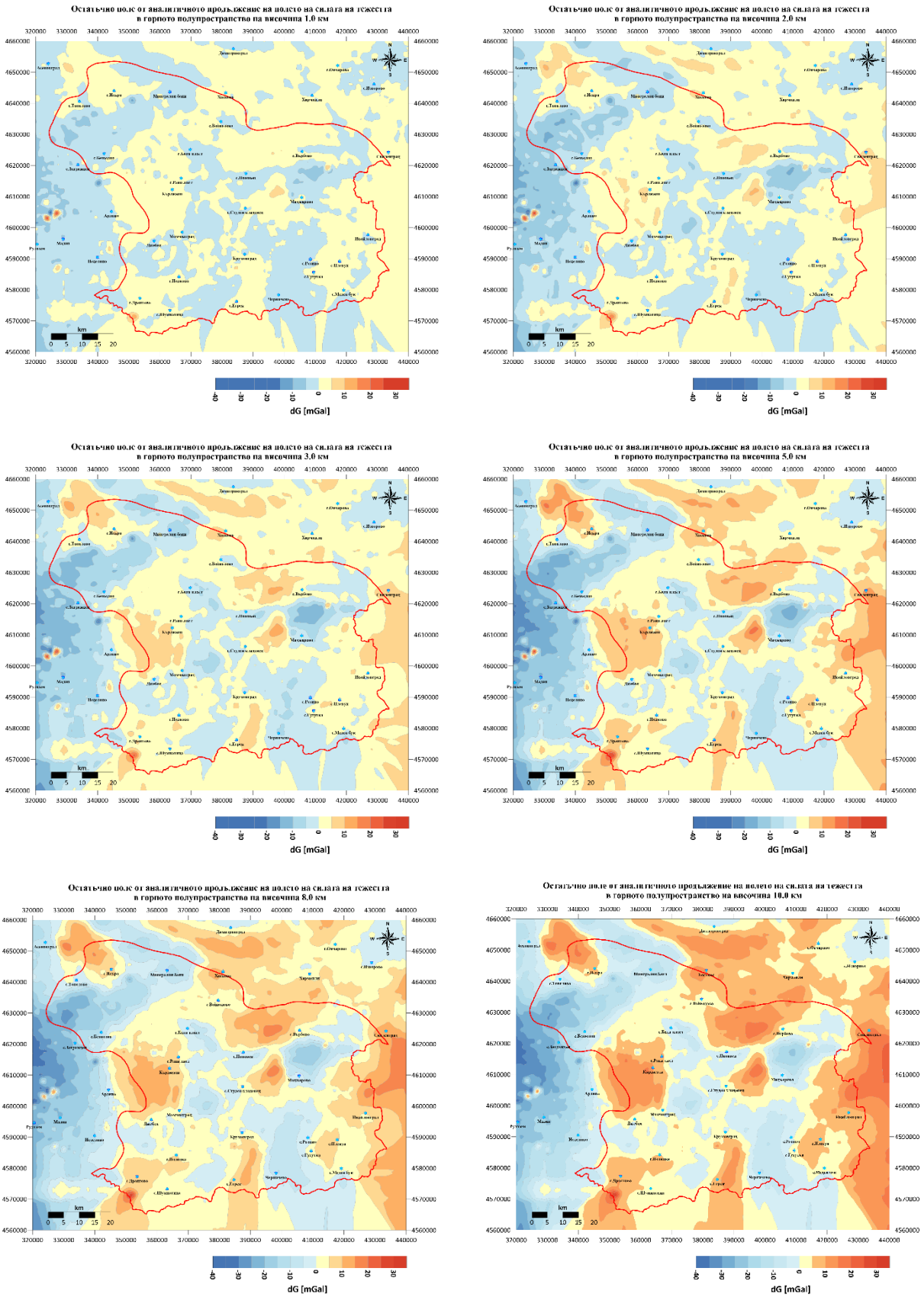


Фиг. 5. Разпределение на аналитично продължение на гравитационно поле в горното полупространство, на 3, 5, 8 и 10 км

Локалните гравитационни полета се характеризират със сложна морфология, което отразява структурно-тектонския строеж на повърхностните зони, изграждащи геоложкия разрез на Родопския масив (Stavrev et. all 2009; Trifonova et. all 2013). В общи линии върху картите намират проявление повечето от гънковите и разломни структури. Гравитационните преходи, маркиращи разломни зони с относително недълбоко заложение, най-добре се проявяват върху картата на вариационните аномалии по Андреев-Грифин (Фиг. 6) и остатъчното поле от аритметичното осредняване. При това, най-повърхностните тектонски проявления, както и следва от физични съображения, се детайлизират от остатъчното поле. Най-детайлна информация за приповърхностната диференциация на геоложкия разрез по плътностни свойства се получава от картата на аналитичното продължение в долното полупространство. Картата има сложна мозаечна структура и характеристиката на полето доуточнява някои особености в морфологията на повърхностния разрез.

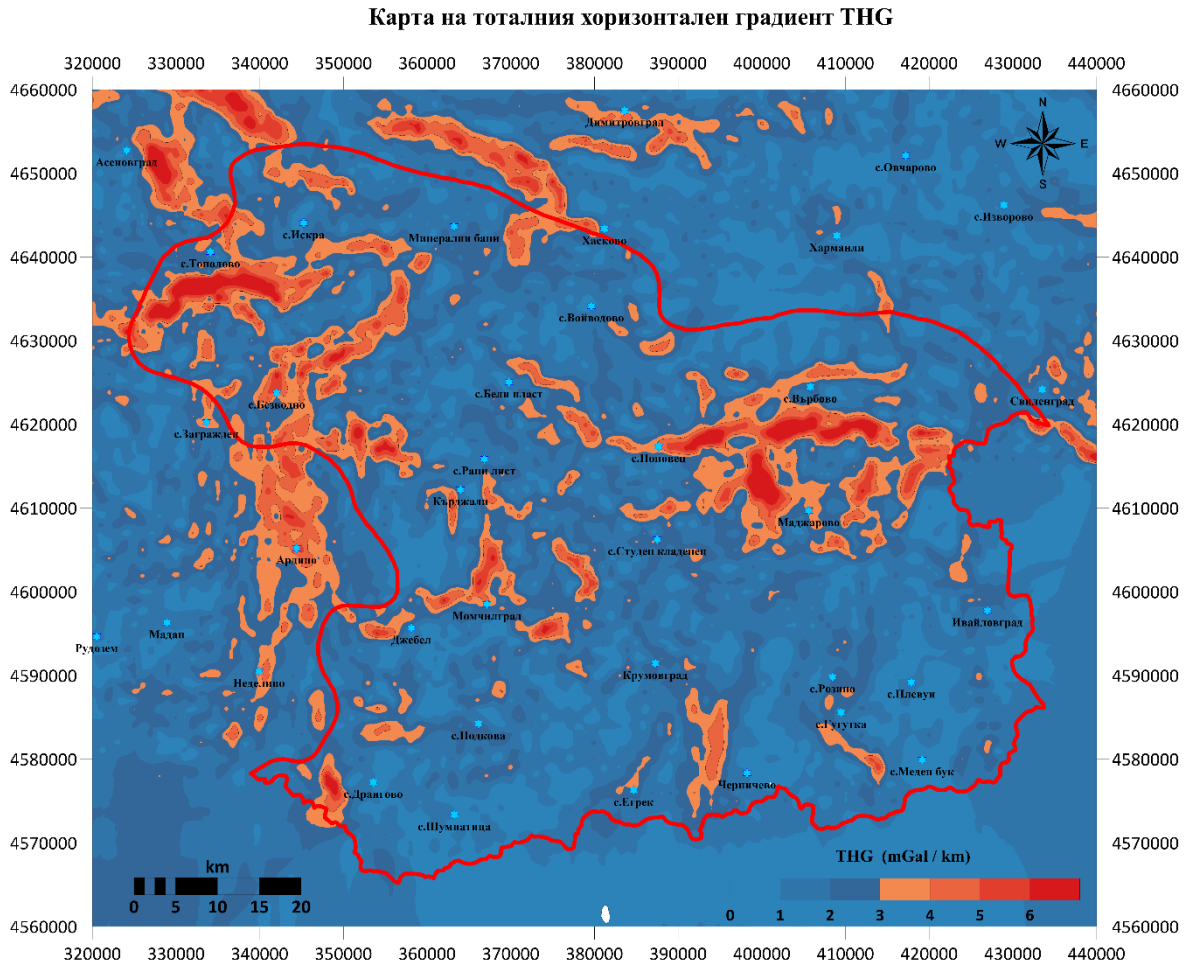


Фиг. 6. Вариационни аномалии на полето на силата на тежестта по Андреев-Грифин при радиус на осредняване 1, 2, 3, 5, 7 и 8 км



Фиг. 7. Разпределение на остатъчно поле от аналитичното продължение на полето на силата на тежестта на 1, 2, 3, 5, 8 и 10 км

Разпределението на тоталния хоризонтален градиент (THG) на гравитационното поле (Фиг. 8), картира местоположението и ориентацията на издължени вертикални или наклонени дълбоки дислокации, разломни структури, контакти на масивни блокове, интрузии, граници на грабенови и хорстови структури. Някои геоложки структури като антиклинали и синклинали могат да създадат подобни ефекти, но те са разпознаваеми след обикновен анализ на хоризонталния градиент и частни хоризонтални производни (Dimovski and Radichev 2002; Stavrev et. all, 2019; Metodiev and Trifonova 2016).



Фиг. 8. Разпределение на изчисления тотален хоризонтален градиент на гравитационно поле (THG, mGal/km)

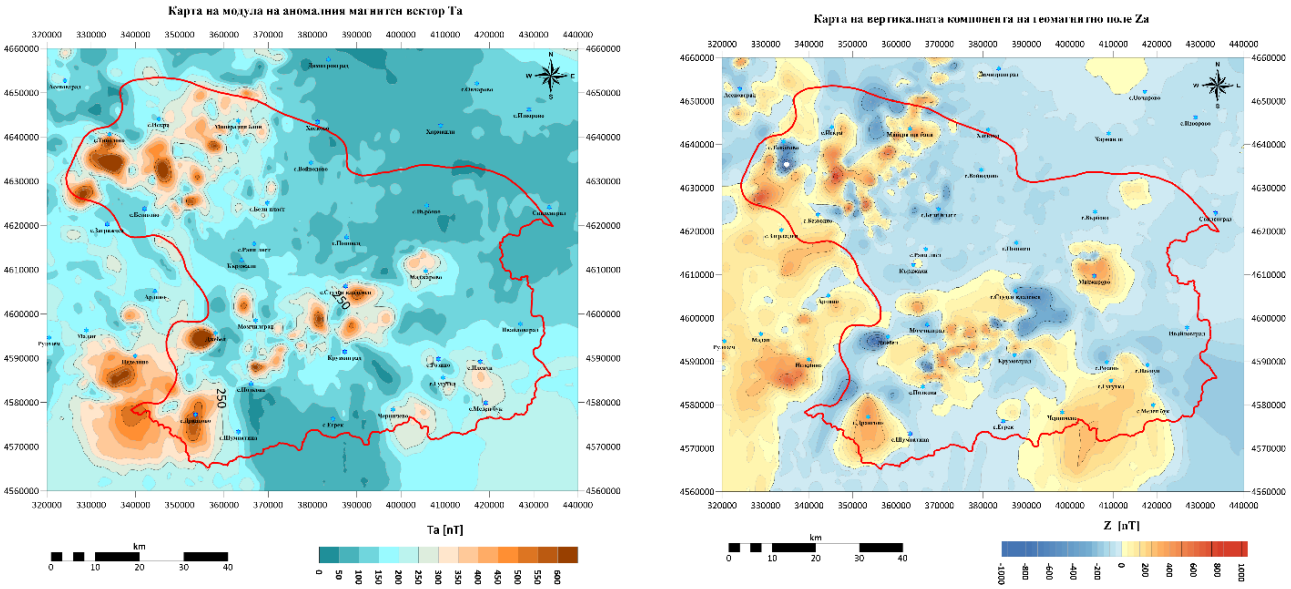
Магнитното поле на Родопския масив (Фиг. 9), е относително спокойно и се характеризира в регионален план с ниска интензивност, което отразява широкото разпространение на архайските и протерозойски метаморфити и крупни гранитоиди и батолити. На спокойния фон полето се изявява с нееднородна морфология.

В районите, където широко се разпространени метаморфозираните докамбрийски образувания, се наблюдава нормално или слабо отрицателно поле.

Границите, изграждащи ядра на Родопския масив, създават на места нормален и слаб положителен фон на полето.

В Източнородопското понижение разпространението на основни и ултраосновни скали се отбелязва от Момчилградско-Авренската положителна аномалия. На североизток се отделя регионална отрицателна аномалия (Хасково-Свиленградска), която остава открита по посока на Долнотракийската падина. Тази отрицателна магнитна аномалия съвпада с разкритията на мощни мезокайнозойски отложения.

Северната граница на Родопите и Сакар се маркира с интензивни линейни магнитни аномалии с обширно простиране. Те се обуславят от зона с максимално насищане от интензивен магматизъм, предимно с ултраосновен и среден състав на ларамиийската фаза на тектонска активизация.
Момчилградско-Авренската аномалия е предизвикана от серпентинови тела, които се характеризират с голяма магнитна възприемчивост. Аномалията в района на Маджарово е привързана към разкритията на риолитите и метаморфните скали, като положителното магнитно поле по всяка вероятност е свързано с орудяването на разломните зони.
Хасковската локална аномалия съответства на недълбоко залягащите магнитни смутители. Вулканичният пояс по северната граница на Родопите и Сакар намират проявление и на остатъчното магнитно поле. Младите интрузии с повишена магнитна възприемчивост в отделни райони залягат на сравнително малка дълбочина.
Ефузивните скали на Родопския масив се проявяват на магнитното поле предимно с положителни аномалии с различна интензивност. Югозападно от Девин, където са разпространени средномагнитните трахиандезити, риолити и техните туфи, се отделят с високо интензивни положителни аномалии. Набогатените с пирит и сфалерит риолити на Давидковското рудно поле създават положителни аномалии. Риолитите и риолитовите туфи от Източни Родопи се характеризират с относително по-ниска магнитна възприемчивост и не се отделят добре от магнитното поле. Във вътрешните грабени, на Родопския масив където са развити ефузивите с основен състав, интензивността на аномалиите се колебаят от 100 до 1000 nT.



Фиг. 9. Карти на модула на тоталния геомагнитен вектор Та и на вертикалната компонента на геомагнитното поле Za

Структурни особености на Източни Родопи по геофизични данни

Съвкупният анализ на данните за геотектонския строеж на Родопския масив, в частност неговата източна част, и тяхното отражение в гравитационните и магнитните полета показват важността на последните за металогенното райониране. Съществен интерес за рудната геология представлява дълбочинната зоналност на масива (Йосифов и Георгиева, 2018), добре изявена върху регионалните гравитационни полета и структурно тектонските елементи на горната част на земната кора, отразени върху локалните гравитационни полета.
Върху картата на локалните гравитационни полета, Североизточнородопското понижение, запълнено с приабонски и олигоценски седименти, вулканогенно-седиментни и кисели вулкански скали, се изявява с аномалия, състояща се от три локални минимума, от които централният е по-слабо интензивен. Западно разположеният минимум е изтеглен в запад-североизточна посока, а източният -

в северозапад-източна посока. От данните на количествената интерпретация дълбочините на понижението варират в западната част около 2 км, в средната - около 1 км, а в източната – 2 - 2,5 км.
Южно от Североизточнородопското понижение на фона на архайския комплекс се разполага сравнително голяма по площ и с неправилна форма положителна аномалия. В северната й част огъването на изолиниите отбелязва местоположението на Бойновския и Кобилянския гребен.
Момчилградското понижение се проявява на картата на остатъчното гравитационно поле с отрицателна аномалия, изтеглена в югозапад-североизточна посока (Цветков, 2005). На нейния фон, северно и южно от Момчилград се отделят два разнопосочни ориентирани минимуми: южният в изток-западна посока с дълбочина около 2 км., а северният в посока почти север-юг с дълбочина 3-3,5 км.
Обширното Маджаровско понижение се характеризира със сложна морфология на остатъчното гравитационно поле. Преобладават отрицателни аномалии, които вероятно се дължат на гънково усложнение в дълбочинния тектонски строеж. В западната част полето се деформира от проявлението на Боденската синклинала, която има субпаралелно разположение. Последната, по характер на изявеност на полето, се явява като свързващо звено между Североизточнородопското, Маджаровското и Момчилградското понижение (Цветков, 2005).
На картата на магнитното поле край Маджарово се обособява локален максимум, геоложката природа на който се свързва с Маджаровския вулканизъм.
Положителна локална аномалия оконтурва Авренската грабен-синклинала. Това проявление на тези негативна тектонска структура вероятно е свързано с доминиращото влияние на внедрените в нея относително по-плътни палеозойски серпентинизирани ултрабазити.
Тинтявското подуване се маркира със субмеридионално изтеглени отрицателни аномалии. Това проявление вероятно е свързано с относително ниско плътни аномалообразуващи маси, изграждащ ядрото на тази позитивна структура.
Мандришкото понижение, характеризиращо се със сложна повърхностна морфология се проявява върху картите на локалните полета с относителен минимум.
Остатъчното гравитационно поле отразява цялостно Харманлийската моноклинала с положителна аномалия. Локализирани максимуми в обсега на аномалията отразяват блоковия строеж на моноклиналата. Интензивната магнитна аномалия съвпада с Тънковското подуване.
Сакарската антиклинала, ядката на която е изградена от каледонски и херцински гранитоиди с относително понижена плътност, се проявява върху локалните полета с много добре обособена отрицателна аномалия, изтеглена в посока изток-запад. Метаморфната мантия около ядрото на антиклиналата формира върху остатъчното поле неправилни по форма положителни аномалии.
Разломните структури, обхващащи повърхностния геоложки разрез, са застъпени широко в Източнородопската зона и намират добро проявление върху локалните потенциални полета.
Кърджалийската разломна зона, наложена върху източната периклинала на Среднородопската антиклинала, представлява остатъчно поле с често сменящи посоката си, не много добре издържани гравитационни преходи.
В западната периферия на Тинтявското подуване интензивен гравитационен преход маркира Авренската разломна зона, свързана с внедряването на серпентинизирани ултрабазити. Преходът има обща дължина 16-17 км., ширина около 1 км и среден хоризонтален градиент 4 mGal/км.
Камилдолската разломна зона, развита по южната част на Маджаровското структурно понижение, се проявява върху остатъчно гравитационно поле с много добре изразен гравитационен преход, който бързо сменя ориентацията си от субмеридионална до почти субпаралелна.
Добре изявен гравитационен преход с простиране, клонящо към субпаралелно, маркира Ибредженската разломна зона. Преходът има ширина около 2 км, хоризонтален градиент 3 - 4 mGal/км и дължина 30 км.

Аерогама-спектрометричните данни са представени от съдържанието на уран, торий, калий-40, и сумарното гама-лъчение (Фиг. 8), както и F-фактор (представляващ отношението между съдържанията на Уран, Торий и Калий-40).

$$\text{F фактор} = \left(\frac{U.Th}{K}\right),$$

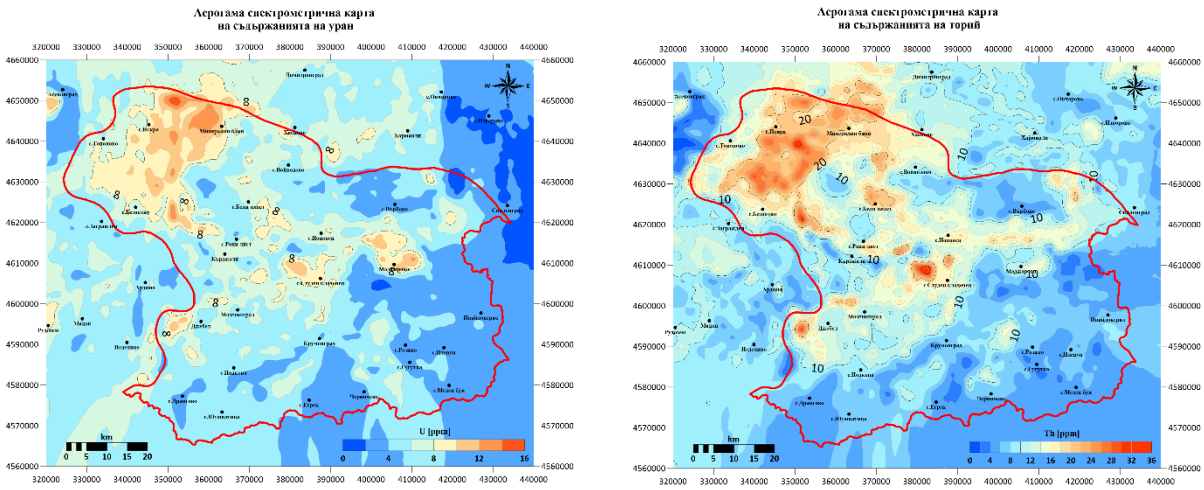
Данните получени от аерогама-спектрометричните измервания (Фиг.10 и 11), са твърде информативни по отношение изучаването на метесоматичните промени на скалите, характерни за златната

минерализация (Дайски и др.1986; Саров. 1994, 1995). На основата на резултатите от геоложката картировка са определени участъци с широко площно развитие на най-характерните за района на Източните Родопи, метаморфни и вулканогенно-седиментни скали, които са използвани за статистически анализ на аерогама-спектрометричните данни. Най-важните статистически данни са обобщени в Таблица 1.

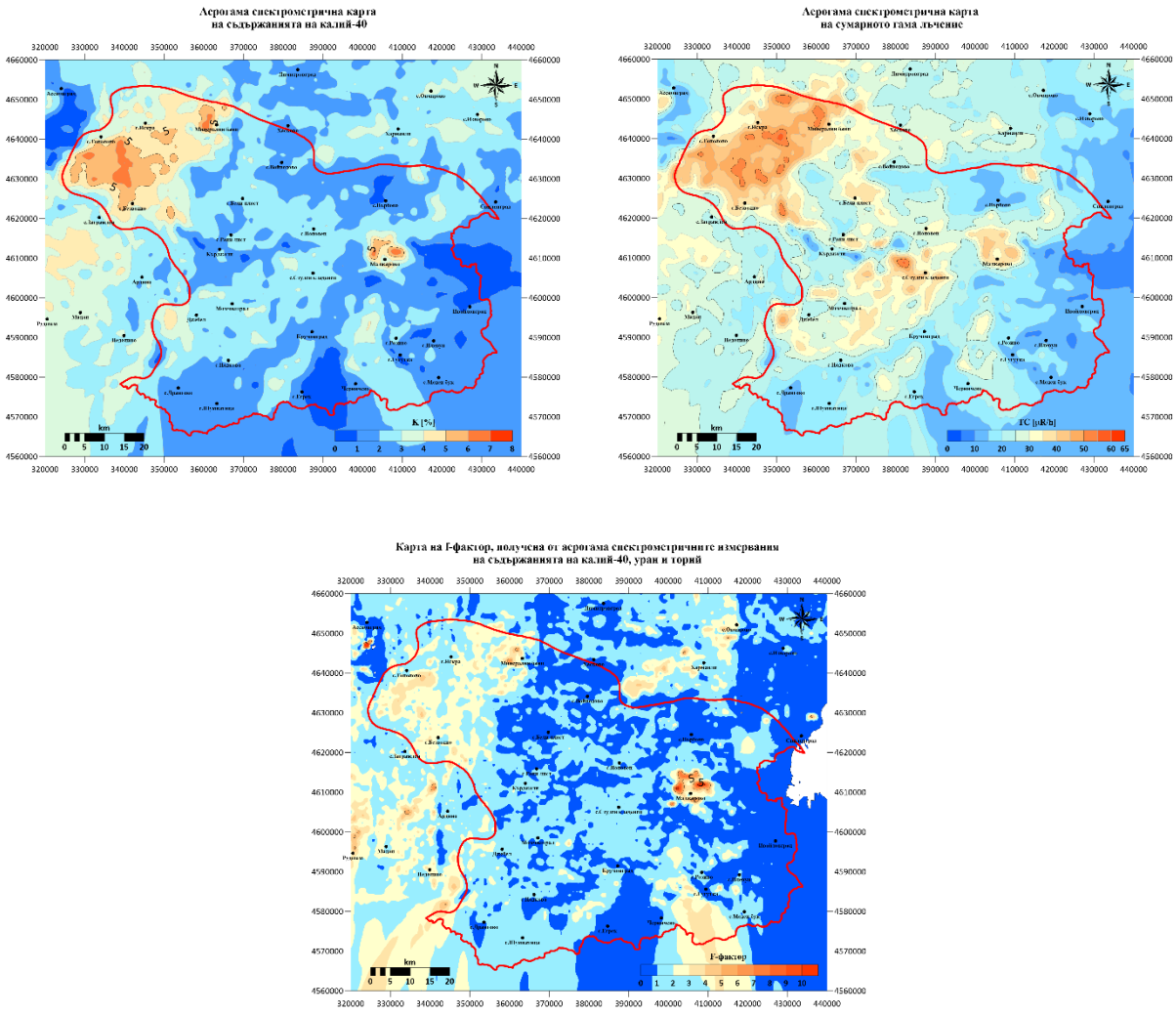
Таблица 1. Статистически данни за разпределението на радиоактивните елементи по аерогама-спектрометрични данни за основните литоложки разновидности в изследваната територия

Литоложка разновидност	***брой***	***Средни съдържания***			***Коефициент на корелация между K и Th***
		Калий %	Торий %	Уран %	
Пясъчници	111	1,88	8,40	4,20	0,73
Брекчоконгломерати	91	1,73	7,28	4,00	0,76
Кисели туфи и туфобрекчи	79	2,42	15,70	7,46	0,84
Риолити	56	3,00	19,20	8,00	0,78
Среднокисели туфи и туфобрекчи	108	2,10	10,20	6,10	0,54
Андезити	48	1,95	10,00	5,40	0,94
Андезитови лавобрекчи	43	1,81	7,78	4,35	0,69
Базалти	56	2,75	15,60	8,00	0,75
Гранити „чучулигински тип“	129	2,56	4,86	3,24	0,05
Мрамори	50	1,56	5,10	2,90	0,42
Амфиболити	88	1,11	4,70	2,80	0,67
Метагабра с ортоамфиболити	78	0,82	3,30	2,15	0,67
Шисти без гранат	86	1,43	5,61	2,97	0,83
Биотитови гнайси	102	1,39	7,00	3,00	0,63
Метагранити	78	2,23	7,54	4,08	0,61
Нискометаморфни шисти	33	2,11	6,20	3,64	0,73

С най-високи стойности на съдържанията на радиоактивните елементи U, Th и K-40 се характеризират киселите вулкански скали (риолити, кисели туфи и туфобрекчи) и базалтите. С повишени съдържания на K-40 се открояват и левкократните („чучулигински“ тип) гранити. Много ниската степен на корелация между калий и торий е свързана вероятно с повсеместната им напуканост и промяна. Най-ниски средни съдържания на радиоактивните елементи са установени за седиментните скали.



Фиг. 10. Карти на разпределение на съдържанието на уран и торий на територията на Източни Родопи



Фиг. 11. Карти на разпределение на съдържанието на калий-40, сумарното гама-лъчение (ТС) както и отношенията между съдържанията на уран и торий и калий (F-фактор) на територията на Източни Родопи

При извеждането на геофизичните признаци и предпоставки при търсенето на жилни златно-полиметални орудявания на територията на Източните Родопи, са използвани резултатите от изследванията в Попско-Белополското рудно поле, които включват изучаване на благоприятните структурно-литоложки, структурни, магмени и минералого-геохимични фактори за търсене на жилни златно-сребърно-полиметални минерализации, в които са включени следните геофизични критерии, характерни за жилни златно-полиметални минерализации от типа на находище Попско (Саров и др, 1994, 1995):

1. Участъци с високи стойности на т.н. F фактор, свързани с хидросерицитовите фациеси аргилизити. Те се оформят във вид на зони, маркиращи проницаеми рудоносни структури, благоприятни за златно-сребърна минерализация.
2. Ясно изразени северозападни зони на повишена напуканост и тектонизация на скалите.
3. Възли на пресичане на северозападни, субмеридионални и субекваториални нарушения, отделени по гравиметрични и магнитни данни като благоприятна среда за образуване на рудни стълбове.
4. Локални гравитационни минимуми и участъци с повишени съдържания на радиоактивните елементи U, Th и K-40, свързани с рудогенни субвулкански риолитови и риодацитови тела, благоприятни за жилни и прожилково-впръснати орудявания.
5. Интензивни локални магнитни максимуми, свързани с тела от серпентинизирани ултрабазити, чийто контакти са благоприятна среда за жилно орудяване.

6. Локални, обикновено по-слабо изразени, магнитни максимуми, обусловени от метагабра с повишени магнитни свойства, благоприятни за жилно орудяване. Броеницоподобно наредени аномалии от такива тела са установени на север от с. Попско, в близост до навлачната повърхност в северната периферия на Белоречкото подуване.
7. Локални положителни магнитни и гравитационни аномалии, свързани със субвулкански тела от андезитови и диоритови порфирити, благоприятни за прожилково-впръснато или жилно орудяване.
8. Локални, не особено интензивни, гравитационни минимуми, свързани с тела от левкократни гранити. Техните активизирани контакти са благоприятни за отлагане на жилно и прожилково-впръснато орудяване.

В обхвата на разкритите жили с повишени съдържания на злато и сребро са установени метасоматични промени от типа на серитизация, каолинизация, окварцяване, кварц-адуларизация. С някои от тях са свързани интензивните аномалии на F-фактора.
Изброените геофизични аномалии се намират в западната периферия на предполагаемо по гравиметрични данни гранитно тяло, което по своята геофизична характеристика отговаря на неголяма по размери интрузия.
Изведените най-характерни за района геофизични признаци и предпоставки на примера на Попско-Белополското рудно поле и отчасти рудопроявление Горноселци дават възможност да се набележат и други перспективни за откриване на златни, сребърни и полиметални орудявания в този и съседни на него участъци от Източните Родопи.

Извод

Комплексният анализа на резултатите от изследваните локални трансформанти на гравитационното поле, модула на тоталния геомагнитен вектор *Ta* и на вертикалната компонента на геомагнитното поле *Za*, както и на разпределението на радиоактивните елементи U, Th и K-40 от аеро-гама спектрометричните проучвания, позволява да се направят някои основни изводи:

- Използването на различни локални тарансформанти на потенциалните полета позволява надеждно картиране на местоположението и ориентацията на различни вертикални или наклонени дълбоки дислокации, разломни структури, контакти на масивни блокове, интрузии, граници на грабенови и хорстови структури, както и антиклинални и синклинални структури.
- Комплексната обработка, анализ и интерпретация на геоложката, геохимичната и геофизична информация, представлява мощен инструмент при решаване на прогнозни задачи при търсенето на потенциални рудоносни структури.

Литература

Georgieva, G., S. Nikolova. 2013. The Moho Depth and Crustal Structure beneath Bulgaria Obtained from Receiver Function Analysis, Comptes rendus de l'Acade'mie bulgare des Sciences, Vol 66, No5, pp.725-732

Dimovski, S., R. Radichev. 2002. Interpretation of the horizontal gravity gradient in the Central Rhodope region. 3-rd Balkan Geophysical Congress and Exhibition, 24-28 June 2002, Sofia, Book of abstracts, 263-264

Metodiev, M., P. Trifonova. 2016. Geophysical analysis of the Eastern Rhodope region, Compt. Rend. Acad. Sci, v. 69, № 5, 615-621

Trifonova, P., D. Solakov, S. Simeonova, M. Metodiev, P. Stavrev. 2013. Regional pattern of the earth's crust dislocations on the territory of Bulgaria inferred from gravity data and its recognition in the spatial distribution of seismicity, Pattern Recogn. Phys., 1, p. 25-36, doi:10.5194/prp-1-25-2013

Tzankov, Ch. 2015. SYstem for Modelling and INterpreting of GRavity ANomalies (SYMINGRAN). 8th Congress of the Balkan Geophysical Society. 5-8 October 2015, Chania, Greece. ISSN: 2214-4609.

Stavrev, P., S. Dimovski, A. Kisyov, P. Trifonova, M. Metodiev. 2019. Regional mapping of geophysical and geological data in the process of their integrated analysis and interpretation. 10th Congress of Balkan Geophysical Society, 18-22 September 2019, Albena Resort, Bulgaria

Stavrev, P., D. Solakov, S. Simeonova, P. Trifonova. 2009. Regional set of dislocations in the Earth's crust of Bulgaria according to gravity data, Conference Proceedings, 5th Congress of Balkan Geophysical Society, May 2009, cp-126-00091, https://doi.org/10.3997/2214-4609-pdb.126.6507

Дайски, К., С. Павлов, Р. Рангелов. 1986. Прогнозиране на площи, перспективни за полиметални орудявания, по данни от комплексните аерогеофизични проучвания в Лозенското рудно поле. Списание на БГД, год. XLVII, книга 2, 188 – 196 с.

Димовски, С., Р. Радичев. 2004. Изследване на локални трансформанти на гравитационното поле. Годишник на МГУ, Том 47, Св. I, Геология и геофизика, 291-296. ISSN: 1312-1820

Йосифов, Д., Г. Георгиева. 2018. Строежни особености на горната мантия на територията на крупните рудни находища на цветни метали в България, Геология и минерални ресурси, брой:2-3, 2018, стр.:3-9

Радичев, Р., С. Димовски. 2003. Количествена интерпретация на хоризонталния градиент на гравитационното поле за прагови структури по данни от статистически анализ. Годишник на МГУ, Том 46, Св. I, Геология и геофизика, 409-414. ISSN: 1312-1820

Саров, С., Д. Цветанов, М. Овчарова, Й. Гергелчева, Н. Марков, Е. Миков, Л. Никова, А. Цветков, Д. Цветкова, В. Вълков, И. Калинова. 1994. Доклад за резултатите от изпълнението на геоложка задача: "Геоложко картиране в мащаб 1:25 000 и комплексна оценка на минералните ресурси в централната част на Белоречкото подуване, в района на селата Тинтява, Железино, Черничево и Ботурче на площ от 430 кв. км. Геофонд на МОСВ, IV-415

Саров, С. и др. 1995. Доклад за резултатите от изпълнението на геоложка задача: "Геоложко картиране в М 1:25000 и геоморфоложко картиране в М 1:50000 с комплексна прогнозна оценка на минералните ресурси на части от Авренската синклинала и Кесибирското подуване, в района на с.с. Подкова, Токачка, Голямо Каменяне, Букова махала и др. на площ от 425 кв. км". Геофонд на МОСВ, IV-426

Цветков, А. 2005. Геофизична характеристика на някои вулкански структури в централната част на Момчилградското понижение. Годишник на Минно-Геоложкия университет “св. Иван Рилски”, Том 48, Св. I, Геология и геофизика, 2005

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N17

Application of the ERT method for mapping weathering zones in rock complexes

Ivailo Ivanov[1], Stefan Dimovski[2], Nikolay Stoyanov[3]

[1]-University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Department of Geotechnics, e-mail: bulgeo@dir.bg
[2]-University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Applied Geophysics, e-mail: dimovski@mgu.bg
[3]-University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Department of Hydrogeology and Engineering Geology, e-mail: nts@mgu.bg

Keywords: applied geophysics, ERT method, rock complex, weathering zone, Struma highway

Abstract:
Conventional engineering geological survey methods are often difficult to apply when studying high and steep rock slopes. In such conditions, the use of drilling equipment is difficult and even dangerous, especially when there are weak, strongly weathered sections on the slopes, creating a potential danger of self-collapse of rock fragments. In many cases, the slopes are close to roads or railways, a circumstance that creates extra danger.
The possibilities for mapping zones affected by weathering and secondary alteration in the near-surface parts of rock complexes by the application of ERT (Electrical Resistivity Tomography) method are presented. The high efficiency of this non-invasive method is based on the large differences between the electrical resistivity values typical for the unaltered rock varieties and for those affected by weathering processes. The sharp differences in ionic conductivity are due to the presence of a high percentage of gas or liquid phase between the altered particles, as well as to the presence of fine-grained, fine-dispersed or decomposed to clay materials.
In the presented article are illustrated the results of a geoelectrical survey for mapping weathered zones in the upper parts of rock slopes along the route of the Struma highway, Southwestern Bulgaria. The results of the study are of great practical importance for the development of a project for optimal strengthening and securing of the hazardous slopes, which has been successfully implemented.

Приложение на метода ERT за картиране на изветрели зони в скални комплекси

Ивайло Иванов[1], Стефан Димовски[2], Николай Стоянов[3]

[1]-Университет по архитектура, строителство и геодезия, 1046 София; bulgeo@dir.bg
[2]-Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Приложна геофика", e-mail: dimovski@mgu.bg
[3]-Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", Катедра „Хидрогеология и инженерна геология"; e-mail: nts@mgu.bg

Ключови думи: приложна геофизика, ERT метод, скален комплекс, изветряла зона, автомагистрала Струма

Въведение

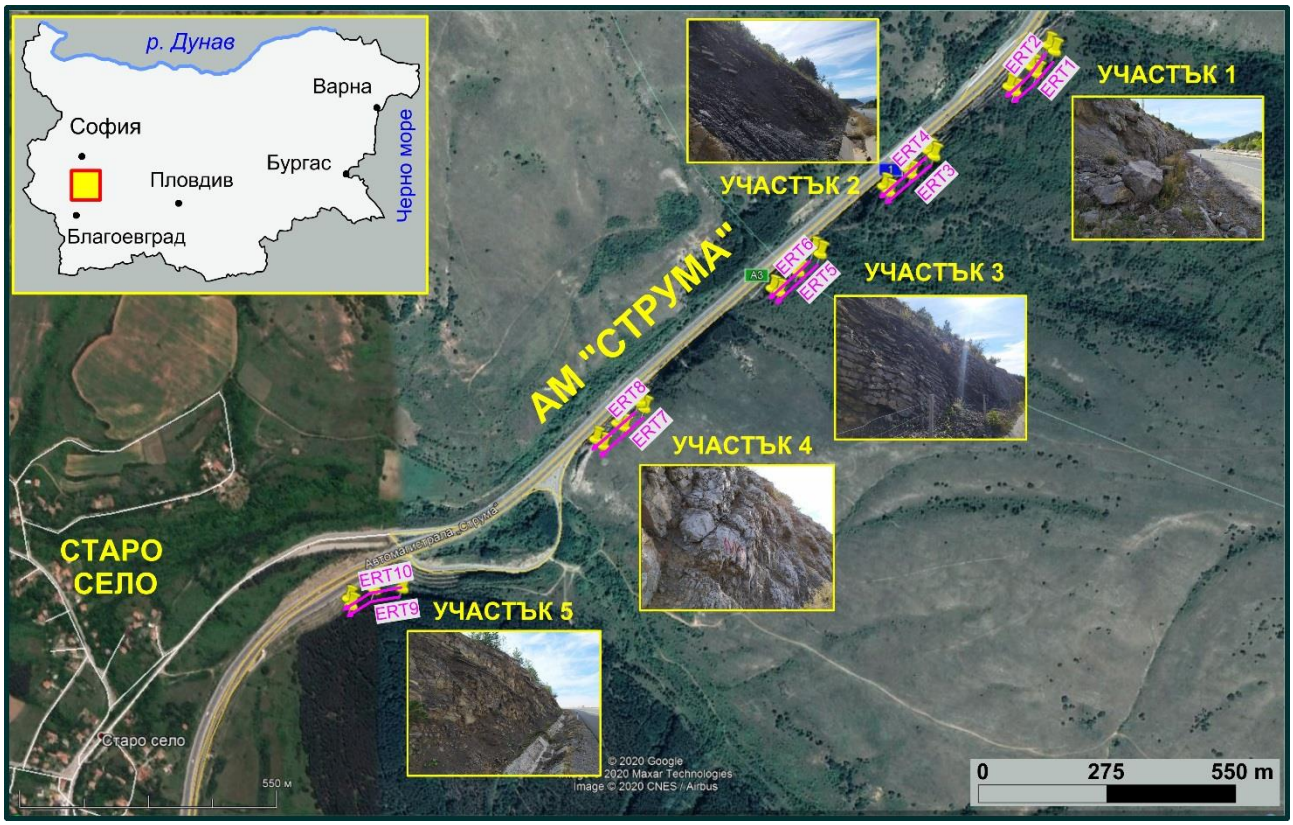
През последните 20 години метод ERT (Electrical Resistivity Tomography) се утвърди като универсален инструмент за картиране на приповърхностния геоложки разрез. Високата му ефективност се базира на много добрата диференциация на изследваната среда по специфично електрично съпротивление. Различията в неговите стойности се предпоставят от ендо- и екзогенните характеристики на скалните формации в проучвания разрез на всеки конкретен – литоложки и минерален състав, структура и текстура, зърнометрия, порестост, напуканост, окарстяване, изветряне, водонаситеност, състав на течната фаза и др. При интерпретацията на електричните модели обикновено се установяват и други, най-често имплицитни корелации между стойностите на електричното съпротивление и регистрираните промени в първичното състояние на изследваната среда, настъпили в резултат на природни и/или антропогенни въздействия.
Нашият дългогодишен опит показва безспорните предимства на метод ERT при картирането на границите на геоложки или хидрогеоложки формации, окарстени или напукани зони; тектонските нарушения, зони с различна водонаситеност и водообилност, зони с различна степен на техногенно или природно замърсяване, свлачищни участъци, археологически обекти и др. (Димовски и др., 2007, 2012,

2013, 2015, 2016; Димовски, 2010; Димовски и Стоянов, 2010, 2011, 2015, 2016, 2018; Стоянов и Гюров, 2004; Стоянов и др., 2004; Dimovski et al., 2008, 2013, 2017a, 2017b; и други). Сходни резултати, доказващи ефективността на метод ERT са публикувани и от други български автори (Коцев и др., 2018; Шанов и др., 2009; Georgieva et al., 2008; Grigorova and Koprev, 2017, 2018, 2019; Ivanov et al., 2008; Shanov et al., 2009, 2011).

В настоящата статия представяме резултатите от проучване, което показва възможностите на метода при картиране на изветрели и вторично променени зони в самообрушващите се скални откоси по трасето на автомагистрала Струма в западния склон на планина Витоша. Откосите са с височини, на места надминаващи 30 m, като от тях често падат скални късове, създаващи опасност за пътното движение. Основната задача на проучването е да се определят дебелините на силно изветрелите зони, така че при проектните укрепителни работи тези зони да бъдат преминати и анкерите да се закотвят в по-свежата и здрава скална основа или такива зони да се укрепят допълнително. Техническите трудности при използване на други методи за проучване на подобни стръмни и високи откоси доказаха ползите от използването на ERT метода (Тоцев, 2020). При интерпретацията на данните са използвани и резултати от проведеното инженерногеоложко картиране на откосите и данни от направеното измерване на пукнатини.

Характеристика на изследвания обект

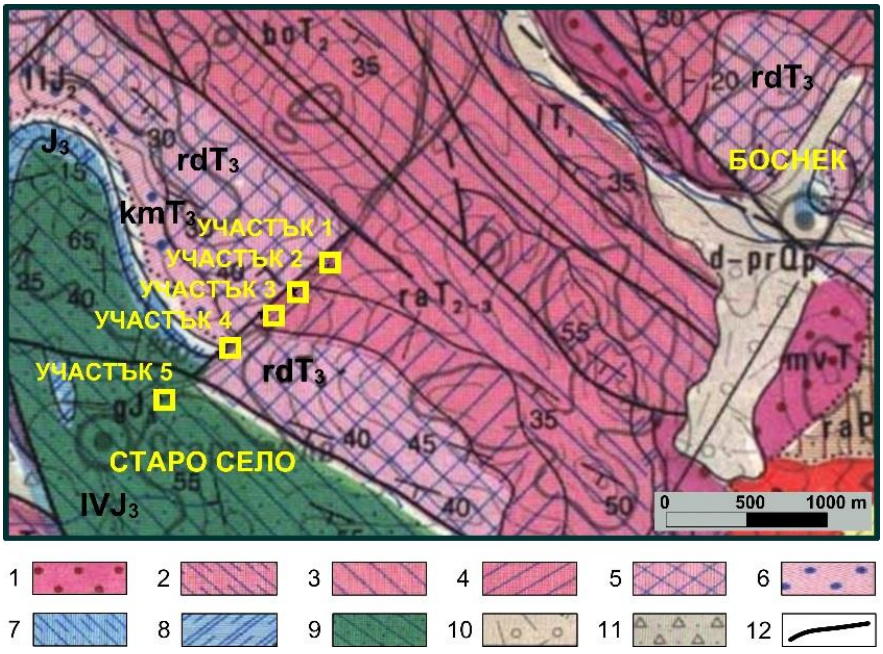
В регионален план районът попада в западния дял на планина Витоша. Обект на изследване са високите части на скалния откос в пет участъка по трасето на автомагистрала Струма между селата Боснек и Старо село, Пернишка област. Изследването обхваща горната част на геоложкия разрез до дълбочина 19-23 m в тясна ивица с широчина 30-40 m по периферията на откоса. (Фигура 1). В първите четири участъка теренът е с наклон на югозапад, а в петия участък – на изток. Надморската височина варира в диапазона между 810 и 850 m.



Фигура 1. Проучвани участъци по трасето на автомагистрала Струма между селата Старо село и Боснек. Сателитна снимка от Google Earth.

Геоложкият строеж на района е много пъстър, а тектониката - твърде сложна. В повърхностните разкрития се установяват скали от различни генетични типове и с различни възрасти от долния триас до кватернера (Загорчев и др., 1991, 1994). По-конкретно в пълния стратиграфски разрез отдолу нагоре

следват следните геоложки формации: Мърводолска свита mvT_1 – конгломерати, пясъчници, алевролити; Любашка свита lT_1 – алевролитови варовици, мергели, варовити пясъчници; Боснекска свита boT_2 – доломити; Радомирска свита raT_{2-3} – варовици, мергели, алевролити, аргилити; Русиновделска свита rdT_3 – доломити; Комщицка свита kmT_3 – варовици, алевролити, пясъчници, мергели, брекчоконгломерати; Градецка свита и Полатенска свита IIJ_2 – пясъчници, конгломерати, варовици; Гинска свита J_3 – ядчести варовици; Нешковска свита и Костелска свита IVJ_3 – мергели, пясъчници, аргилити; Делувиално-пролувиални образувания *d-prQp* – чакъли, пясъци, песъчливи глини. Разломите в района са с направление NW - SE и перпендикулярно на тях NE - SW, като пукнатинните системи в скалните формации следват приблизително същите направления, обусловени от тектонските напрежения, довели до разломяването и формирането на отделни тектонски блокове. Теренните разкрития и границите на изброените геоложки формации са представени на Фигура 2.



Фигура 2. Геоложка карта в района на проучваните участъци

1 – Мърводолска свита mvT_1; 2 – Любашка свита lT_1; 3 – Боснекска свита boT_2; 4 – Радомирска свита raT_{2-3}; 5 – Русиновделска свита rdT_3; 6 – Комщицка свита kmT_3; 7 – Градецка свита и Полатенска свита IIJ_2; 8 – Гинска свита J_3; 9 – Нешковска свита и Костелска свита IVJ_3; 10 – Делувиално-пролувиални образувания *d-prQp*; 11 – Пролувиално-делувиални *pr-dQp*; 12 – Разлом.

Забележка: По Геоложката карта на България 1:100000, к.л. Перник (Загорчев и др., 1991).

В обхвата на изследваните участъци доминират седименти от състава на Радомирската свита raT_{2-3}, Русиновделската свита rdT_3, Нешковската и Костелската свита IVJ_3 и частично припокриващите ги делувиално-пролувиални образувания *d-prQp*.

Горната част на откосите и склоновете в района е покрита частично от делувиални (свлечени от по-високите части) и елувиални (изветрителни) седименти, включващи кафяви песъчливи глини, сред които се срещат множество скални късове. Дебелината на делувиалните наслаги е от 0.50 до над 4 m, в зависимост от релефа и повърхността на скалната подложка. В горната и лицевата част на скалните откоси се е оформила изветрителна кора с дебелина от 1.0 до 2.0 m, състояща се от напукани от мразово изветряне скални пластове и ерозирали аргилити (Фигура 3).

Методика и инструменти

Картирането на приповърхностния разрез е проведено по метод ERT. Теренните измервания са изпълнени по 4-електродна схема Schlumberger посредством голям брой свързани към многожилен кабел електроди (Griffiths et al., 1990). Използвани са две коси от 12 жилен кабел с разстояние между електродите 5 m (общо 24 електрода на разстановка). Регистрацията е извършена с помощта на апаратура Terrameter SAS 1000. Измерванията са изпълнени по десет профила, всеки от които с дължина 115 m. Точното местоположение профилите е представено на Фигура 1.



Фигура 3. Откос, силно засегнат от изветрителни процеси.

Полевите данни са обработени със софтуер RES2DINV (Loke, 2001). С него са получени геоелектрични модели – разрези на реалното разпределение на електричните съпротивления по десетте профила. Трансформирането на геоелектричните модели в геоложки модели е направено на базата на: (i) обща информация за геолого-тектонски условия в изследвания район; (ii) литературни данни за специфичните електрични съпротивления на различните типове скали (Daniels and Alberty, 1975; Keller and Frischknecht, 1966); (iii) резултати от инженерногеоложкото картиране на откосите и данни от направеното измерване на пукнатини в петте участъка.

Анализ и интерпретация на получените резултати

Получените с програма RES2DINV геоелектрични разрези по 10-те профила, са представени на Фигура 4, Фигура 5, Фигура 6, Фигура 7 и Фигура 8. Комплексният анализ на геоелектричните разрези, резултатите от картирането и данните от измерването на пукнатини дава основание да направим следните по-важни констатации и изводи:

(i) Геоелектричният разрез е добре издържан по разпределението на електричното съпротивление в дълбочина.

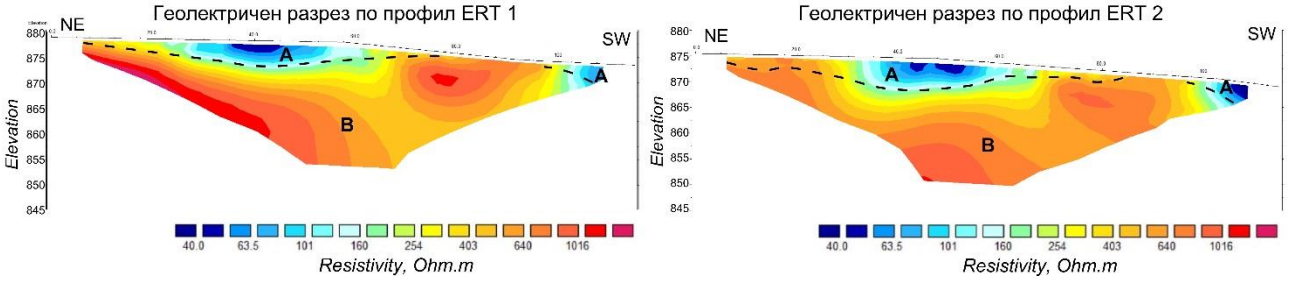
(ii) Регистрираните електрични съпротивления на разновидностите (средите) в изследваните разрези варират в много широк диапазон – от 30 Ωm до 3800 Ωm и повече.

(iii) Изследваните геоелектрични разрези се представя от четири електросъпротивителни среди (зони), обозначаващи пластове и зони с различия в степента на изветряне и настъпилите вторични промени на геоложката среда.

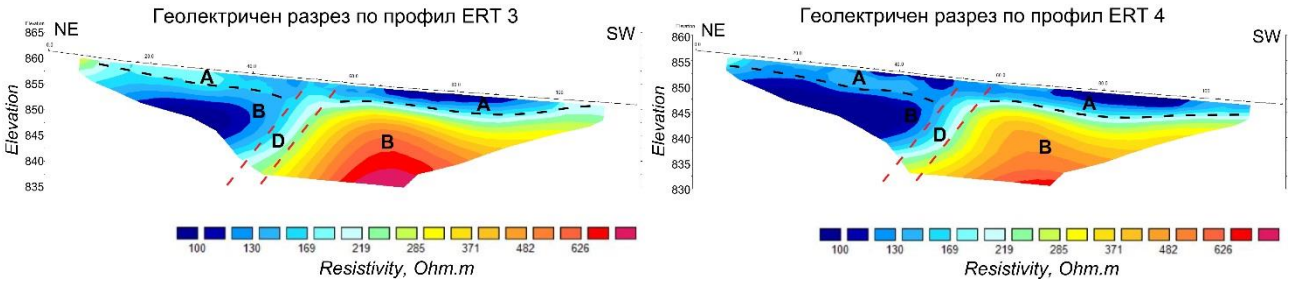
- Първата електросъпротивителна среда (Зона А) е установена във всички разрези по десетте профила. Най-вероятно тя очертава границите на силно изветрелите и вторично променени зони в горната част на скалния откос. Дебелината на тази зона във всеки от изследваните разрези е представена в Таблица 1. В същата таблица са представени и стойностите на електричните съпротивления, характеризиращи електросъпротивителната среда. Високите стойности на електричното съпротивление се свързва с наличие на по-едрозърнести продукти при вторичната промяна на коренните скали, а ниските предполагат, че в тези продукти преобладава глинестия

фациес. В първите четири участъка Зона А е с по-голяма дебелина в близките до скалния откос разрези (Профили ERT-1, ERT-3, ERT-5 и ERT-7) в сравнение със съответните им по-отдалечени от откоса разрези (Профили ERT-2, ERT-4, ERT-6 и ERT-8). Това е логично и обяснимо тъй като далечните за откоса части от скалните комплекси на Боснекската свита, Радомирската свита и Русиновделската свита са по-слабо засегнати от изветрителните процеси. В петия участък дебелината на Зона А е по-голяма в отдалечения от откоса разрез по Профил ERT-10. Това се обяснява с наличие на пласт от делувиални глини с дебелина 2.5-3.0 m, покриващ вторично променените скали от състава на Нешковската и Костелска свити.

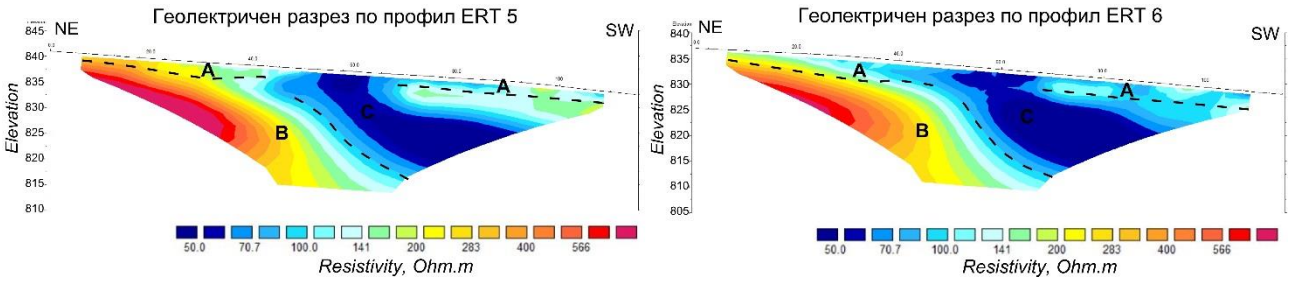
- Втората електросъпротивителна среда (Зона В) също присъства в разрезите на десетте профила. Най-вероятно тя картира здравите и по-слабо засегнатите от вторични промени части на скалните комплекси в петте участъка. Локалните различия в установените електрични съпротивления, вариращи в широкия диапазон от 100-200 до 3800 Ωm и повече, се обясняват както с твърде пъстрия литоложки състав на седиментните комплекси (пясъчници, варовици, доломити, мергели, алевролити, аргилити, брекчоконгломерати и т.н.), така и с наличието на зони с различна степен на водонасищане.
- Третата електросъпротивителна среда (Зона С) притежава много ниски стойности на електричното съпротивление – от 30 до 150 Ωm. Най-вероятно зона картира черните аргилити от състава на Русиновделската свита, които съдържат въглищни включения и прослойки. Зона С е установена единствено в двата разреза по профили ERT-5 и ERT-6.
- Четвъртата електросъпротивителна среда (Зона D) вероятно маркира разседна зона в централната част на участък 2. Регистрирана е разрезите по Профил ERT 3 и Профил ERT 4. Широчината на зоната е около 5-6 m. Стойностите на електричното съпротивление е между 150 и 250 Ωm, което предполага слабо присъствие на глинест фациес.



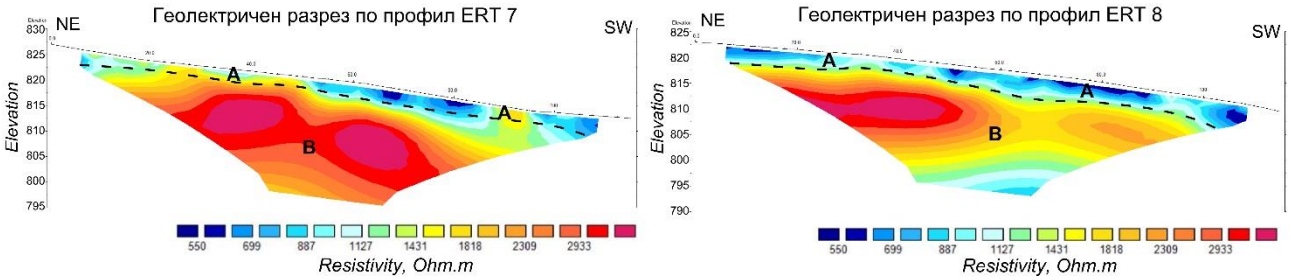
Фигура 4. Зониране на изветрелите и вторично променени части в Участък 1.



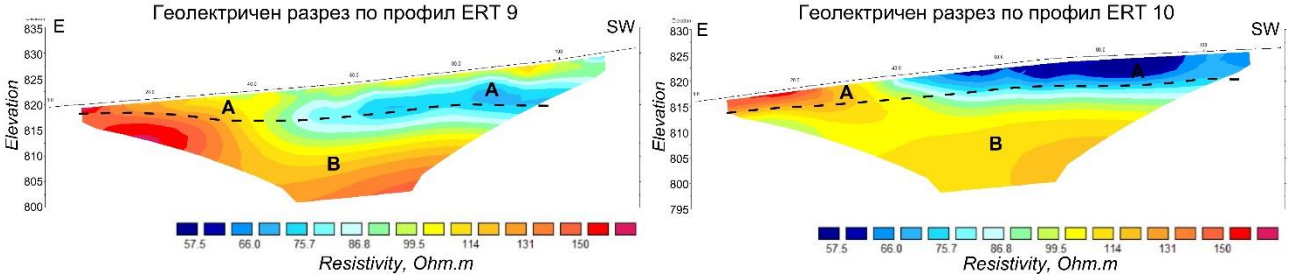
Фигура 5. Зониране на изветрелите и вторично променени части в Участък 2.



Фигура 6. Зониране на изветрелите и вторично променени части в Участък 3.



Фигура 7. Зониране на изветрелите и вторично променени части в Участък 4.



Фигура 8. Зониране на изветрелите и вторично променени части в Участък 5.

Таблица 1. Средна дебелина на силно изветрелите и вторично променени зони в горната част на скалния откос

Участък	Геофизичен профил	Дебелина, m	Електричното съпротивление, Ωm
1	ERT-1	0.0-2.5	от 30 до 160 Ωm, на места до 500 Ωm
	ERT-2	0.0-3.0	
2	ERT-3	0.0-2.0	от 30 до 160 Ωm, на места до 220 Ωm
	ERT-4	1.0-2.0	
3	ERT-5	1.0-2.0	от 50 до 150 Ωm, на места до 300 Ωm
	ERT-6	1.5-2.5	
4	ERT-7	1.0-2.0	от 500 до 1100 Ωm, на места до 3800 Ωm
	ERT-8	1.5-3.0	
5	ERT-9	1.0-5.0	от 50 до 100 Ωm, на места до 150 Ωm
	ERT-10	1.5-3.5	

Заключение

Представеното геофизично изследване демонстрира високата ефективност на метод ERT за картиране на зони с различия в степента на изветряне и настъпилите вторични промени на геоложката среда.
В приложен аспект, резултатите имаха важно практическо значение за изготвянето на проект за оптимално укрепване и обезопасяване на изветрелите слаби зони по откосите чрез полагане на система от високоякостни мрежи, анкери и въжета.

Литература

Димовски, С., Н. Стоянов, Ч. Гюров. 2007. Ефективност на електротомографията за детайлно геоелектрично картиране на приповърхностния геоложки разрез. – БУЛАКВА, 4, 47-55.

Димовски, С. 2010. Електротомографски изследвания на геоложката среда. Дисерт., С., МГУ “Св. Иван Рилски”, 387 с.

Димовски, С., Н. Стоянов. 2010. Приложение на геоелектрични проучвания при изучаване на хидрогеоложките условия в карстови райони. – 6-та Национална конференция по геофизика “20 години Дружество на геофизиците в България”, София, 4 с.

Димовски, С., Н. Стоянов. 2011. Геоелектричен подход при изучаване на хидрогеоложките условия в района на ДБО Асеновград. – Год. МГУ “Св. Ив.Рилски”, т.54, св. I, Геол. геоф., 125-130.

Димовски, С., Н. Стоянов, Х. Цанков, А. Кисьов. 2012. Електротомографски изследвания в района на Зографския манастир в Света гора, Атон. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.55, св. I, Геол. геоф., 96-101.

Димовски, С., Н. Стоянов, А. Кисьов. 2013. Приложение на електротомографията за картиране на суфозионни зони. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.55, св. I, Геол. геоф., 96-101.

Димовски, С., Н. Стоянов, М. Янкова, А. Кисьов. 2015. Електротомографско проучване за картиране на свлачищни повърхнини. – Материали от VII-ма Национална конференция по геофизика с международно участие „Геофизика 2015" – 25 години Българско Геофизично Дружество, 20-23 Май 2015, София. (on CD)

Димовски, С., Н. Стоянов. 2015. Локализиране на подходящи места за изграждане на мониторингови кладенци в слабоводоносен скален комплекс. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.58, св. I, Геол. геоф., 140-145.

Димовски, С., Н. Стоянов. 2016. Геоелектричен подход при търсене на окарстени зони и перспективни участъци за изграждане на вододобивни сондажи. – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.59, св. I, Геол. геоф., 129-134.

Димовски, С., Н. Стоянов, И. Иванов. 2016. Приложение на електротомографията при определяне и характеризиране на перспективни участъци за добив на подземни води. – Сб. докл. VIII-ма Нац. конф. геоф., 25 ноем. 2016, София. (on CD)

Димовски, С., Н. Стоянов. 2018. Приложение на метода ERT в свлачищен участък при наличие на подземни води с повишена минерализация – Сборник доклади от IX-та Национална конференция по геофизика, 30 ноем. 2018, София, стр. 96-103 (on CD).

Загорчев, И., Р. Мартинова, Д. Чунев. 1991. Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Перник. ВТС.

Загорчев, И., Р. Мартинова, Д. Чунев, П. Чумаченко, И. Сапунов, С. Янев. 1994. Обяснителна записка към Геоложка карта на България М 1:100000. Картен лист Перник. ГИ БАН, Геол. и Геоф. АД, София, 92 с.

Коцев, Ц., Колев, С., Христов, В. 2018. Моделиране на замърсяването на водоносния пласт в резултат на различната минерализация на замърсените и пресните подземни води (на примера на долината на Вълче дере, след хвостохранилище „Елешница"). – Сп. Инженерна геология и хидрогеология, бр. 32, 3-12.

Стоянов, Н., Ч. Гюров. 2004. Оценка на замърсяването на подземните води по метода на 2D електросъпротиви-телно проучване по схемата полюс-дипол – Год. МГУ "Св. Ив.Рилски", т.47, св. I, Геол. геоф., 219-224.

Стоянов, Н., С. Стойнев, Ч. Гюров. 2004. Детайлизиране на инженерно-геоложките и хидрогеоложките условия посредством геоелектрични модели – Сп. "Геол. и минер. рес.", бр. 10, стр. 8-12.

Тоцев, А. 2020. Почвени анкери. Колбис, София, 138 с.

Шанов, С., А. Бендерев, А. Митев, Б. Михайлова, И. Илиева. 2009. Геофизични изследвания за откриване на подземни карстови форми в района на с. Румянцево, Ловешка област , Юбилейна конференция „50 години СПК Академик", 24.10.2008, 135-147.

Daniels, F., Alberty, R. 1975. Physical chemistry. John Wiley and Sons, Inc., New York, USA, 687 p.

Dimovski, S., N. Stoyanov, S. Kostyanev. 2008. Application of electrical resistivity techniques for investigation of landslides. – Proceedings of the First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region, EARSeL, Zadar, Croatia, 241-251.

Dimovski, S., N. Stoyanov, A. Kisyov, M. Yankova. 2013. Detection of zones characterized by different degree of water-saturation and mapping of landslide surfaces by application. - Proceedings of 7th Congress of Balkan Geophysical Society – Tirana, Albania. 7-10 October 2013, Paper № 18504.

Dimovski, S., N. Stoyanov, C. Tzankov, A. Kisyov. 2017a. A geophysic approach for mapping of abandoned mining workings and unconsolidated zones in coal mining areas. – J. of Mining and Geol. Sciences, Vol. 60, Part I, Geol. and Geoph., pp. 99-103.

Dimovski, S., N. Stoyanov, C. Tzankov, A. Kisyov. 2017b. Application of electrical resistivity tomography for studying fissure-karst water-bearing complexes. – Proc. 9th Congress of the Balkan Geophysical Society, 5-9 Nov., Antalya, Turkey, Paper 44018.

Georgieva, G., A. Kisyov, C. Tzankov, B. Shtirkova, V. Gourev, Y. Ivanov. 2019. Evaluation of geophysical methods for studying snowfields in Pirin Mountain, 10th Congress of the Balkan Geophysical Society, Bulgaria, 2019, Paper BGS2019-ST1.1-N41O2, 5 p.

Griffiths, D. H., R. D. Barker. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. – Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.

Grigorova, M. & Koprev, I. 3D model of limestone inclusions in Maritsa Iztok mine based on electrical resistivity tomography, Acta Geobalcanica, vol. 3 (2), pp.51-56, 2017.

Grigorova, M. & Koprev, I. Application of electrical resistivity tomography for sand underwater extraction, 4th International Scientific Conference GEOBALCANICA, North Macedonia, 2018, pp15-20.

Grigorova, M. & Koprev, I. Geophysical investigations of "Starite kolibi" marble deposit in Central Southern Bulgaria, 5th International Scientific Conference GEOBALCANICA, Bulgaria, 2019, pp 37-42.

Ivanov, Y. A. Kisyov, C. Tzankov, S. Nikolov. 2017. Application of electrical resistivity tomography for investigation of landslides. Сборник научных трудов: Международный форум-конкурс молодых ученых "Проблемы недропользования", 19-21 апреля 2017, Санкт-Петербург, Часть II, 62 – 65.

Keller G., F. Frischknecht. 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press Inc., Oxford, 517 p.

Loke, M. 2001. A practical guide to RES2DINV ver. 3.4; Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method. Geoelectrical Imaging 2-D & 3D. Geotomo Software. Penang, Malaysia, 129 p.

Shanov, S., A. Mitev, A. Benderev, K. Kostov, B. Mihailova. 2009. Electrical survey for detailed characterizing of underground karst: Example from Iskar River (Western Bulgaria). 5th Congress of Balkan Geoph. Society – Belgrade, Serbia, Geophiscs the cross road. EAGE, 10 – 16 May 2009, (on CD).

Shanov, S., I. Vasilev, A. Mitev, V. Hristov, B. Mihailova. 2011. Electrical Tomography for Studies of the Inner Structure of Dumps (Open-pit "Ellatzite", Bulgaria), 6th Congress of Balkan Geophysical Society, Hungary, 2011.

https://doi.org/10.48368/bgs-2021.1.N18

National Geoinformation Center – scientific infrastructure for Earth observation in Bulgaria

Nikolay Miloshev[1], Petya Trifonova[1], Metodi Metodiev[1]

[1] National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian Academy of Sciences, "Acad. G. Bonchev" str., bl.3, 1113, Sofia, Bulgaria, e-mail: ptrifonova@geophys.bas.bg

Key words: geoinformation, natural risks, disaster management, scientific infrastructure, Bulgaria

Abstract
The National Geoinformation Center (NGIC) is a national scientific infrastructure, whose major purpose is the integration of primary geo-data and its interrelation in an unified, dynamic ICT based network. NGIC unifies monitoring networks, observatories, observation stations, laboratories, computation centers and other specialized equipment of the participating partners, divided in three modules: Monitoring and investigation of the Earth interior and the near-Earth space; Hydro-meteorological monitoring and National Seismic Engineering Center
The instrumental units of the first module include unique facilities, such as seismic, accelerometric, geodetic, meteorological and oceanographic stations, scientific equipment in several laboratories (geotechnical, paleo magnetic, chemical, biological) and computer systems for innovative calculations and data processing. Though them, the Consortium partners provide observation of phenomena affecting the solid Earth (earthquakes, landslides, soils), the air (pollution, UV radiation, magnetic storms) and water (river, underground and marine). Constant monitoring on the territory of the whole country is carried out, delivering on a monthly basis more than 1 TB seismologic, geophysical, geodetic, geological and oceanographic data, which is a valuable material for the performance of research surveys related with the internal structure of the Earth and the ongoing processes in its depths, events happening in the near-Earth space, the climatic changes and the ecology.

Национален геоинформационен център – научна инфраструктура за мониторинг на Земята и околоземното пространство в България

Николай Милошев[1], Петя Трифонова[1], Методи Методиев[1]

[1] Национален институт по геофизика, геодезия и география – Българска Академия на науките, ул. Акад. Г. Бончев, бл.3, София 1113, България, e-mail: ptrifonova@geophys.bas.bg

Ключови думи: геоинформация, природен риск, управление на риска, научна инфраструктура, България

Резюме
Националният геоинформационен център (НГИЦ) е национална научна инфраструктура, чиято основна цел е интегрирането на първичните данни за геосредата и обвързването им в единна, динамична ИКТ базирана мрежа. НГИЦ обединява мониторингови мрежи, обсерватории, наблюдателни станции, лаборатории, изчислителни центрове и друго специализирано оборудване на участващите партньори, разпределени в три модула: Мониторинг и изучаване на Земята и околоземното пространство; Хидрометеорологичен мониторинг и Национален център по сеизмично инженерство.
Инструменталните единици на първия модул включват уникални съоръжения като например сеизмични, акселерометрични, геодезични, метеорологични и океанографски станции, научно оборудване в няколко лаборатории (геотехническа, палеомагнитна, химична, биологична) и компютърни системи за иновативни пресмятания и обработка на данни. Чрез тях партньорите в консорциума осигуряват наблюдение на явленията, засягащи твърдата Земя (земетресения, свлачища и срутища, почви), въздуха (замърсяване, UV радиация, магнитни бури) и водите (речни, подземни и морски). Извършва се непрекъснат мониторинг на територията на цялата страна, който осигурява над 1 TB месечно сеизмологични, геофизични, геодезични, геоложки и океанографски данни, които са ценен материал за извършване на научни изследвания, свързани с вътрешния строеж на Земята и протичащите процеси в нейните недра, явленията, случващи се в околоземното пространство, климатичните промени и екологията.

Въведение

Според Националната програма за защита при бедствия основните природни опасности, които застрашават населението и икономиката на България, са земетресения, наводнения и крайбрежни заплахи, свлачища, опасни метеорологични явления. Антропогенните рискове, които трябва да бъдат добавени към този списък, включват пожари, радиация и индустриални аварии и биологично замърсяване.

Дългосрочен приоритет на правителствените институции, свързани с тази програма, е да извършват анализ и оценка на рисковете от бедствия на територията на България и тяхното картографиране. Това изисква постоянен достъп до геоинформация, високо качество на гео-данните и надеждни услуги, предоставяни от участващите организации за постоянен мониторинг на тези процеси.

Опасните земетресения в България са основно силни събития, които се случват в земната кора в интервала между 10 и 20 км дълбочина. Те са причинени от активиране на разломи в най-горната част на литосферата. Силата на тези земетресения е с магнитуд, по-голям от 5.5. Междинно-фокусни земетресения (на дълбочина до 200 км) се генерират в района на Вранча, Румъния и в Хеленската арка (разположена от Западна Гърция през островите Кипър и Родос до Югозападна Турция). Голямата дълбочина на тези земетресения значително увеличава площта на силните им разрушителни въздействия и създава предпоставки за причиняване на щети и на български територии.

Наводненията са друг тип често срещани природни бедствия на територията на Република България. Те причиняват огромни щети, тъй като засягат населените райони, индустриалните зони, продуктивната земеделска земя и инженерната инфраструктура. Актуализирането на плановете за управление на риска от наводнения се извършва на всеки 6 години, като се отчита въздействието на изменението на климата.

Във високо населената крайбрежна зона доминират антропогенните рискове, но не всички ефекти върху бреговете се дължат на човешка дейност. Климатът може да има сериозни преки и косвени ефекти върху крайбрежната среда. Ефектите от случайни бури могат да бъдат пагубни, докато непреките последици от изменението на климата по отношение на повишаването на морското равнище се очаква да причинят потенциално сериозни щети на незащитените ниско разположени райони по морския бряг.

Свлачищата са опасни геоложки процеси, които се развиват в наклонен терен - речно-долинни склонове, морски брегове, хълмисти райони, подножия и планински възвишения. Те са концентрирани в отделни райони, характеризиращи се със специфична геоложка и тектонична структура. В цялата страна са регистрирани различни видове свлачища, имащи различни механизми, активност и разпространение. Активирането им може да доведе до бедствия, които застрашават човешкия живот и здраве в населените места и курортите.

Национален геоинформационен център – партньори и мониторингова инфраструктура

Националният геоинформационен център (НГИЦ) е създаден през 2018 г. като част от Националната пътна карта за научна инфраструктура (2017-2023), приета от Министерския съвет на България. Това е разпределена научна инфраструктура за сътрудничество и интеграция на човешки ресурси, продукти и данни от мониторингови мрежи и обсерватории и техния съвместен анализ. Две години по-късно, работата на инфраструктурата се оптимизира като се включват нови дейности и се създават три отделни модула: Мониторинг и изучаване на Земята и околоземното пространство; Хидрометеорологичен мониторинг и Национален център по сеизмично инженерство. Първият от тях обединява три института, работещи в областта на наблюдението на Земята: Националният институт по геофизика, геодезия и география (НИГГГ) на Българската академия на науките (БАН), Институтът по океанология (ИО), Геологическият институт (ГИ) и два института, компетентни в областта на ИКТ: Институтът по математика и информатика (ИМИ) и Институтът по информационни и комуникационни технологии (ИИКТ).

Услуги, предоставяни от партньорите

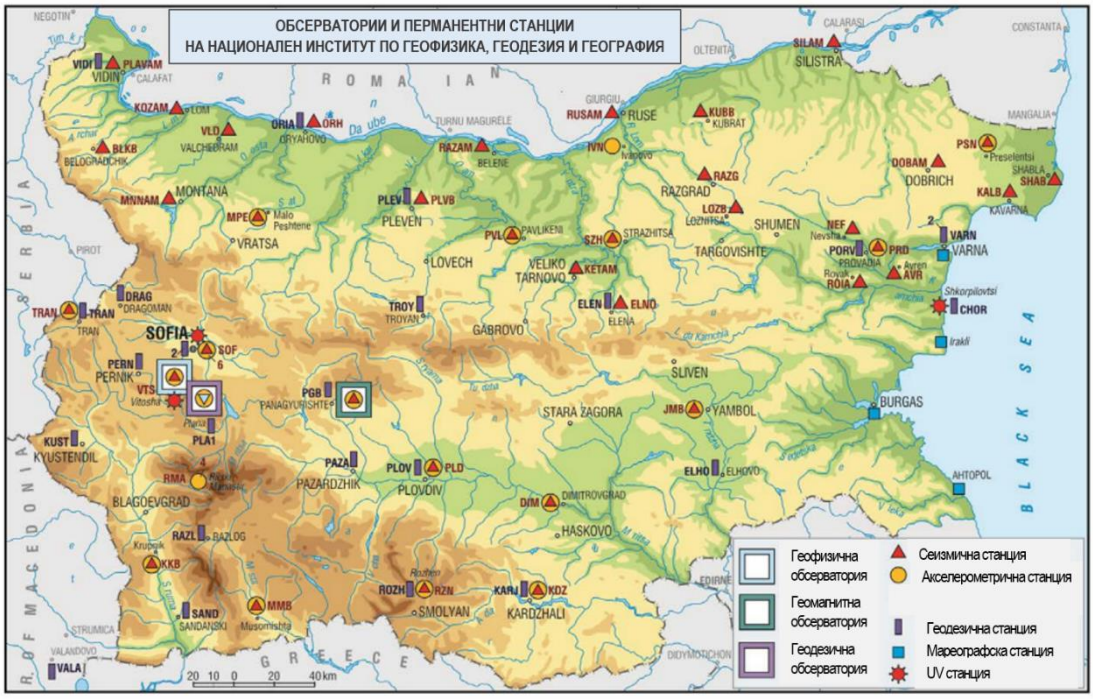
НГИЦ интегрира мрежи за наблюдение, обсерватории, наблюдателни станции, лаборатории, изчислителни центрове и друго специализирано оборудване на участващите партньори. Съществуващите технически ресурси включват уникални съоръжения, научно оборудване и компютърни мрежи (Miloshev et al., 2019): Услугите, които NGIC предоставя като научна инфраструктура, са свързани с данните и продуктите, предоставяни от партньорите, участващи в консорциума, както следва:

Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН (www.niggg.bas.bg)

На Фигура 1 е показана карта с основните мониторингови станции и мрежи, управлявани от НИГГГ.

- Земетресения

Предоставя информация за реализираните земетресения в България и околните територии (епицентър, дълбочина и магнитуд); Изготвя карти с макросеизмична информация; Предоставя информация за треперенето, причинено от сеизмично събитие за определена територия. Оценява сеизмичната опасност за инфраструктура и съоръжения със специално предназначение (АЕЦ, хвостохранилища, язовири, пътища и др.). Извършва проучвания на сгради във връзка с тяхната сеизмична безопасност. Извършва сеизмичен мониторинг на сгради, вкл. паметници на културата. Предоставя експертни оценки на ефектите, причинени от земетресения върху сгради и съоръжения.



Фиг. 1. Карта на перманентните мониторингови мрежи и обсерватории на НИГГГ-БАН

- GNSS, GPS, мареограф

Извършва обработка и анализ на GNSS измервания. Определя координати с висока точност на постоянни GNSS станции; Определя скоростите и напреженията в земната кора. Участва в поддържането на държавната GPS мрежа. Предоставя информация за морското равнище в 4 станции.

- Геомагнитни

Предоставя информация за стойностите на магнитното поле на Земята на територията на страната. Предоставя информация за силата на геомагнитните бури на територията на страната. Участва в измерването на магнитната деклинация и определянето на магнитния модел на територията на България. Прави прогноза за глобалния индекс на магнитното поле Kp Земя. Осигурява възможност за калибриране на инструменти, измерващи геомагнитното поле. Извършва абсолютни геомагнитни измервания за научни и технически цели. Извършва геомагнитни изследвания.

- Палео и археомагнетизъм

Определя магнитните параметри на естествените материали със специализирани лабораторни инструменти. Оценява степента на антропогенно замърсяване на почвите, седиментите и градската среда. Определя степента на ерозия на почвите чрез магнитни изследвания. Направете относително и абсолютно датиране на артефакти от горяща глина. Прави палеоклиматични реконструкции чрез проучване на льосово-почвени профили.

- Качество на въздуха

Предоставя информация за замърсяването на въздуха, показваща концентрациите на няколко основни замърсители на въздуха (CO, NO_2, SO_2, PM10) и определяща така наречения „Индекс на качеството на въздуха на територията на София-град, област София и страната.
Дава оценка на нивата на приземен озон над България за период от 48 часа, въз основа на разработена система, за нуждите на Изпълнителната агенция по околна среда за информиране на населението. Определя индекс на биологично активно UV лъчение. Публикува стойностите на UV индекса, измерени на всеки час в центъра на София.

- Йоносфера

Предоставя информация за общото електронно съдържание на йоносферата въз основа на два разработени глобални емпирични модела. Предоставя информация за състоянието на йоносферата, свързана с максимално приложимите честоти за радиокомуникации до 100 км.

- Екологичен мониторинг

Мониторинг на промените в концентрациите на арсен и тежки метали в реките, подпочвените и почвено-пресни води в долината на река Огоста, замърсени от добива в района на град Чипровци.

- Карст

Извършва интегриран мониторинг на карста (карстови води, тектонична активност, спелео-микроклиматичен мониторинг, спелео-радиологичен мониторинг, социално-икономически мониторинг).

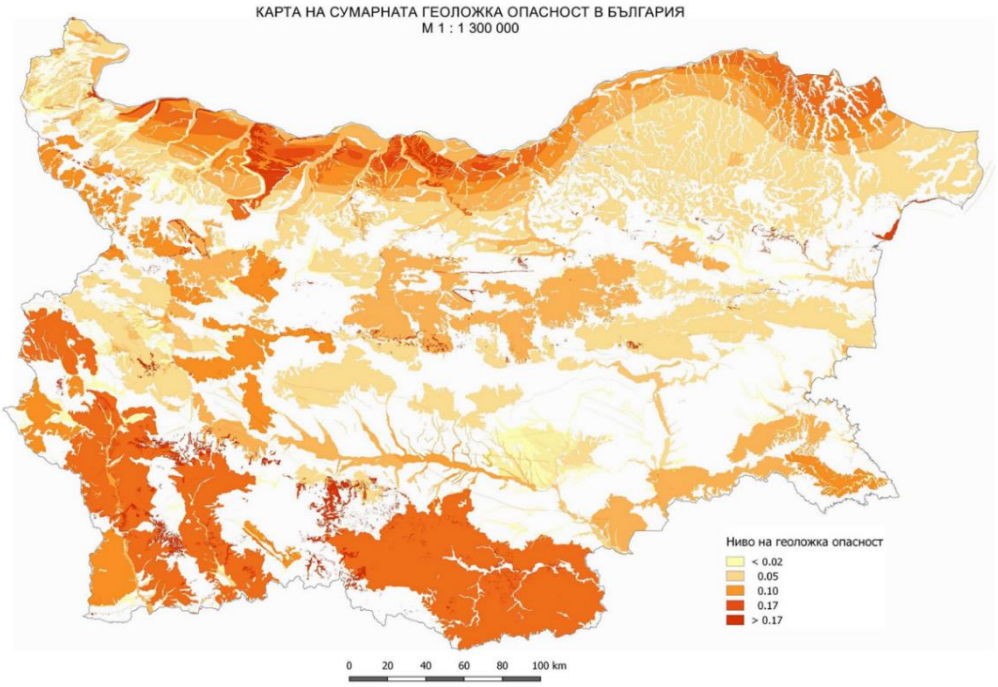
Геологически институт - БАН (www.geology.bas.bg)

- Свлачища и активни разломи

Информация за свлачищни процеси и други опасни геоложки явления (МРРБ и Държавни агенции за геозащита);

- Геоложки опасности

Участие в експертни групи и комисии по проблемите на геоложките опасности в страната (Иванов и др., 2017);



Фиг. 2. Карта на интегрираната геоложка опасност в България, оценена от ГИ - БАН

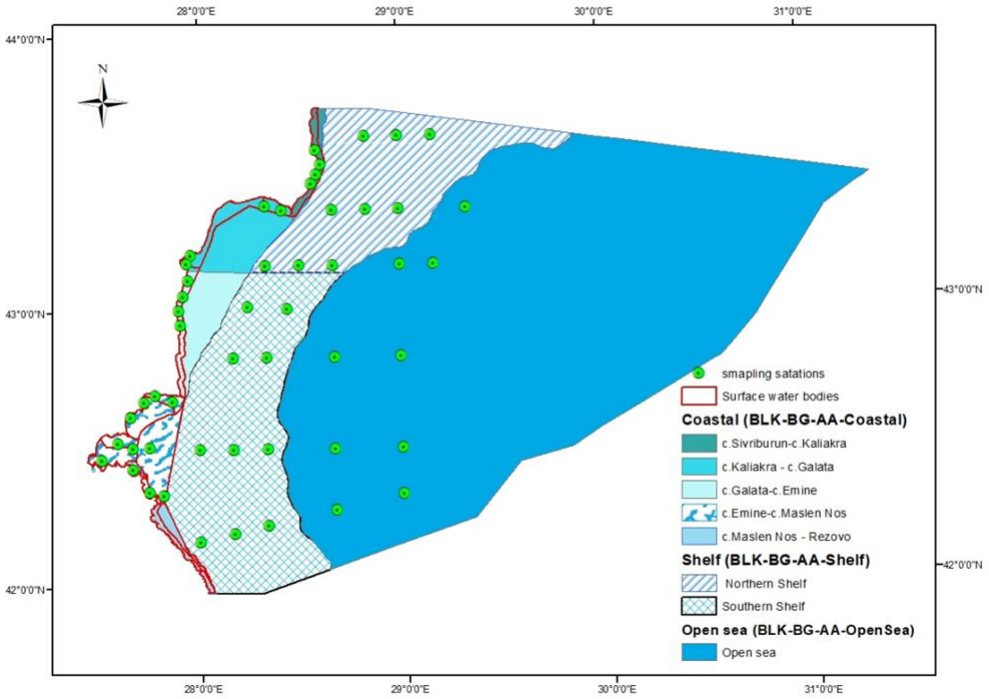
- Геоложки феномени

Изследване на подземни води, геотермални източници, хранилища за радиоактивни отпадъци и други. Поддържа геохимична лаборатория за изследване на химичния и минералния състав (ICP, LA-ICP и др.), Физични и механични свойства на скалите, минералите и почвите.

Институт по океанология - БАН (www.io-bas.bg)

- Национална мрежа за мониторинг

съгласно Рамковата директива за водите и Рамковата директива за морската стратегия - 51 пункта за вземане на проби в крайбрежните, шелфовите и откритите морски зони.
Параметри от Националната мрежа за мониторинг съгласно РДВ и МДФО: хлорофил а; Фитопланктон; Екзотични видове планктон (фито и зоопланктон); Профили на температурата и солеността (Dzhembekova et al., 2018).
Параметри от крайбрежната обсерватория в Балчик: Температура на морската вода; Соленост; Морско равнище; Видимост; Скорост и посока на вятъра; Атмосферно налягане; Температура на въздуха; Влажност;



Фиг. 3. Карта на Националната мониторингова мрежа на ИО-БАН със станции за вземане на проби в крайбрежните, шелфови и открити морски зони

Институт по математика и информатика - БАН (www.math.bas.bg)

Секция Софтуерно инженерство и информационни системи извършва научни изследвания в областта на математическите структури, моделирането и математическата информатика, водещи до иновативни приложения в други науки, в информационните и комуникационни технологии, индустрията и обществото. ИМИ извършва фундаментални и приложни изследвания в областта на математиката и информатиката в съответствие с националните и европейските приоритети, интеграцията в Европейското изследователско пространство. Институтът подпомага внедряването на математика и информатика в националните образователни програми и образователни процеси на всички нива в страната.
В качеството си на партньор в Консорциум НГИЦ, експерти на ИМИ разработиха системната архитектура на геоинформационния център, регламент за създаване и достъп до продуктите му, както и темплейт за описание на услугите, предоставяни от партньорите по НГИЦ (Branzov et al., 2019).

Институт за информационни и комуникационни технологии (www.iict.bas.bg)

Секцията за мрежови технологии и приложения поддържа добри партньорски взаимоотношения с други водещи институции от България и Европа, с интерес към Grid, Cloud и HPC компютри. ИИКТ участва в консорциума чрез услуги в следните области: паралелни алгоритми, научни изчисления, математически методи за обработка на сензорни данни, лингвистично моделиране и обработка на знания, информационни технологии за сигурност, мрежови технологии и приложения, моделиране и оптимизация, информационни процеси и системи за подкрепа на решения, интелигентни системи , Вградени интелигентни технологии, комуникационни системи и услуги, йерархични системи (Atanassov et al., 2017).

Заключение

Големият напредък в информационните технологии прави възможно използването на интегриран подход, улесняващ достъпа до данни и продукти, налични от непрекъснатите наблюдения на Земята и околоземното пространство. Достъпните архиви от данни ще спомогнат генерирането на нови знания и идеи и ще доведат до иновативни изследвания, които са ключът към бъдещия успех в изучаването на процесите, случващи се на нашата планета. Важната роля на Националния геоинформационен център е да осигури база за научните усилия за разгадаване на опасните процеси и да повиши качеството на живот, намалявайки човешките и материални загуби от природни бедствия и индустриални аварии.

Благодарности

Проект "Национален геоинформационен център (НГИК)" се финансира от Националната пътна карта за научна инфраструктура 2020-2027 по Договор № D01-404/18.12.2020 г. с Министерството на образованието и науката на България.

Литература

Miloshev N., Trifonova P., ,2019 What the National geoinformation center is going to change? Bulgarian Geophys. Journ, vol.42, DOI:10.34975/bgj-2019.42.4

Ivanov P. Berov B., Dobrev N., Krastanov M., Frangov S., 2017 Principles for the assessment and mapping of integrated geological hazard in Bulgaria, Geologica Balcanica, 46 (2), pp. 103–109

Dzhembekova N., Moncheva S., Ivanova P., Slabakova N., Nagai S., 2018 Biodiversity of phytoplankton cyst assemblages in surface sedimentsof the Black Sea based on metabarcoding, Biotechnology & Biotechnological Equipment (2018), DOI:10.1080/13102818.2018.1532816

Branzov T., Ivanova Kr., Georgiev Ml., 2019 Service-microservice Basic System Architecture Model for Geoinformation Centers, Proc. of the 19th Interdisciplinary Scientific Geo Conference SGEM, vol.19, pp. 587-594, 2019

Atanassov E., Gurov T., Ivanovska S., Karaivanova A., 2017 Parallel Monte Carlo on Intel MIC Architecture, Procedia Computer Science 108, ICCS, Switzerland, pp.1803-1810, DOI: 10.1016/j.procs.2017.05.149

X Национална конференция по геофизика, 04 юни 2021
X National Geophysical Conference, 4th June 2021

Комплексно геолого-геофизично изследване в района на Долно Камчийското понижение - практическо обучение за студенти

Гергана Георгиева, Атанас Кисьов,
Християн Цанков

SOFIA UNIVERSITY
St. KLIMENT OHRIDSKI

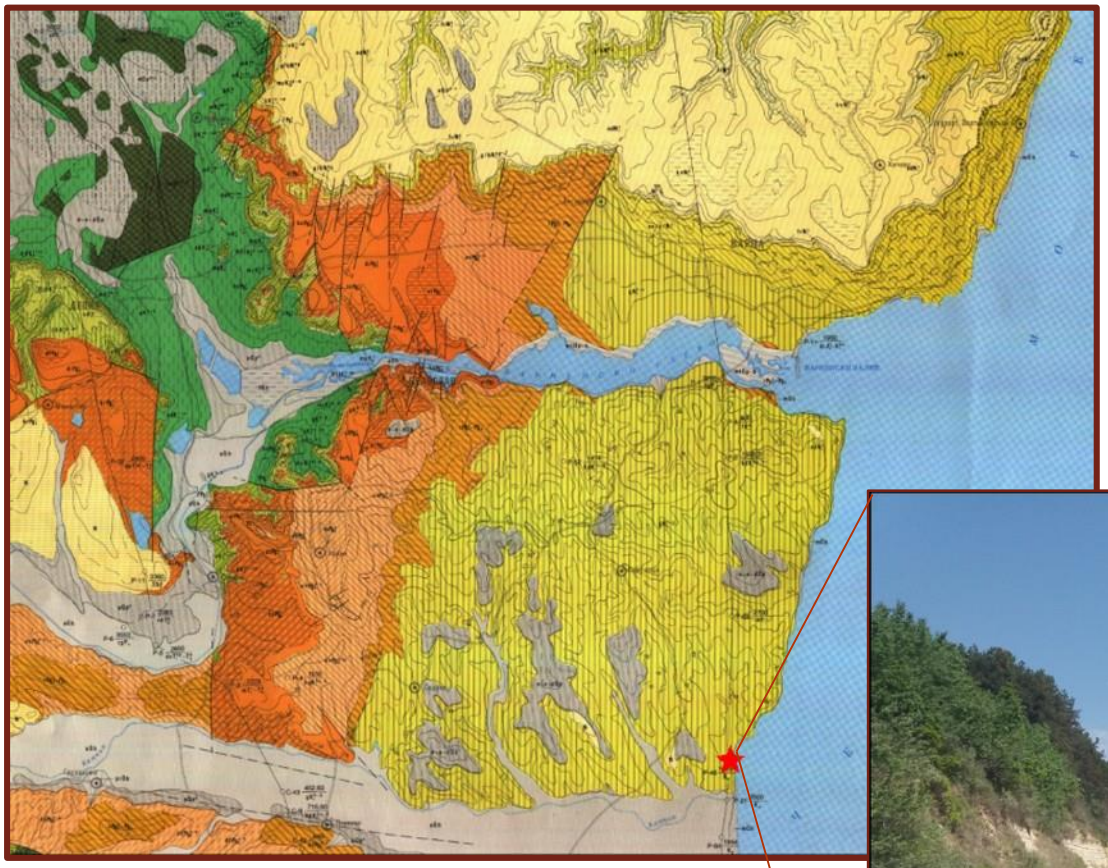
TOTAL

Training

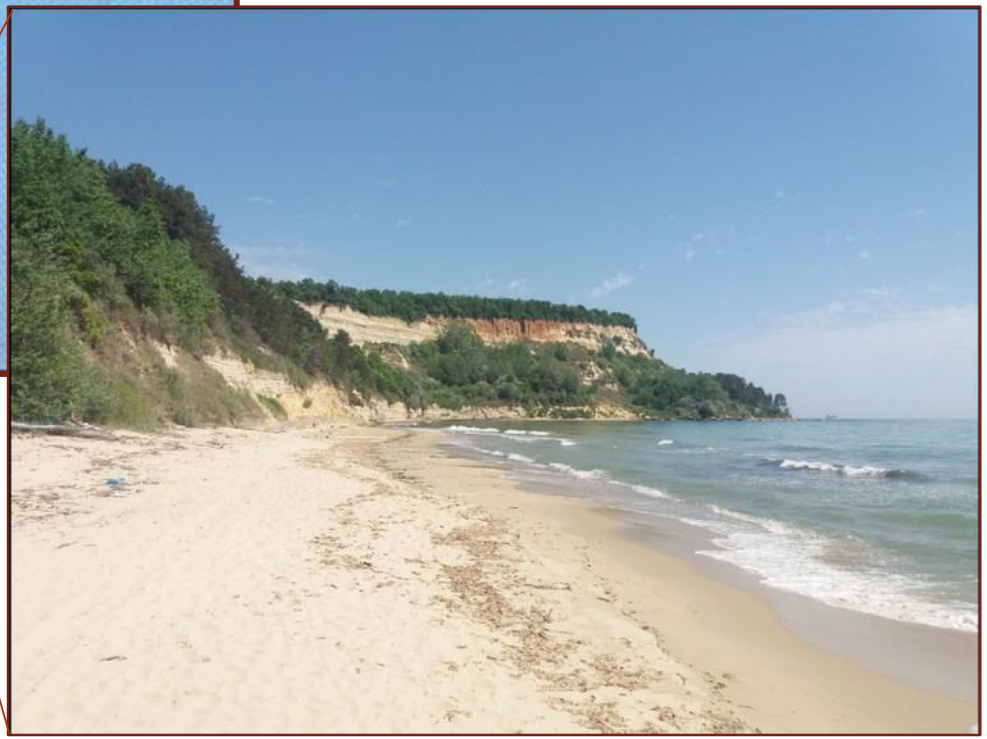
- 19-25 Mai 2019 complex “Romantika”, Kamchia
- 28 students and lecturers
- Practical tasks and theoretical lectures



Outcrop description



Geological map of Bulgaria (M1:100000), map sheet ”Varna and Zlatni pyasatsi” with position of the investigated outcrop (red star).



View of the Galata Fm outcrop at Romantika beach.

Practical tasks - Geology





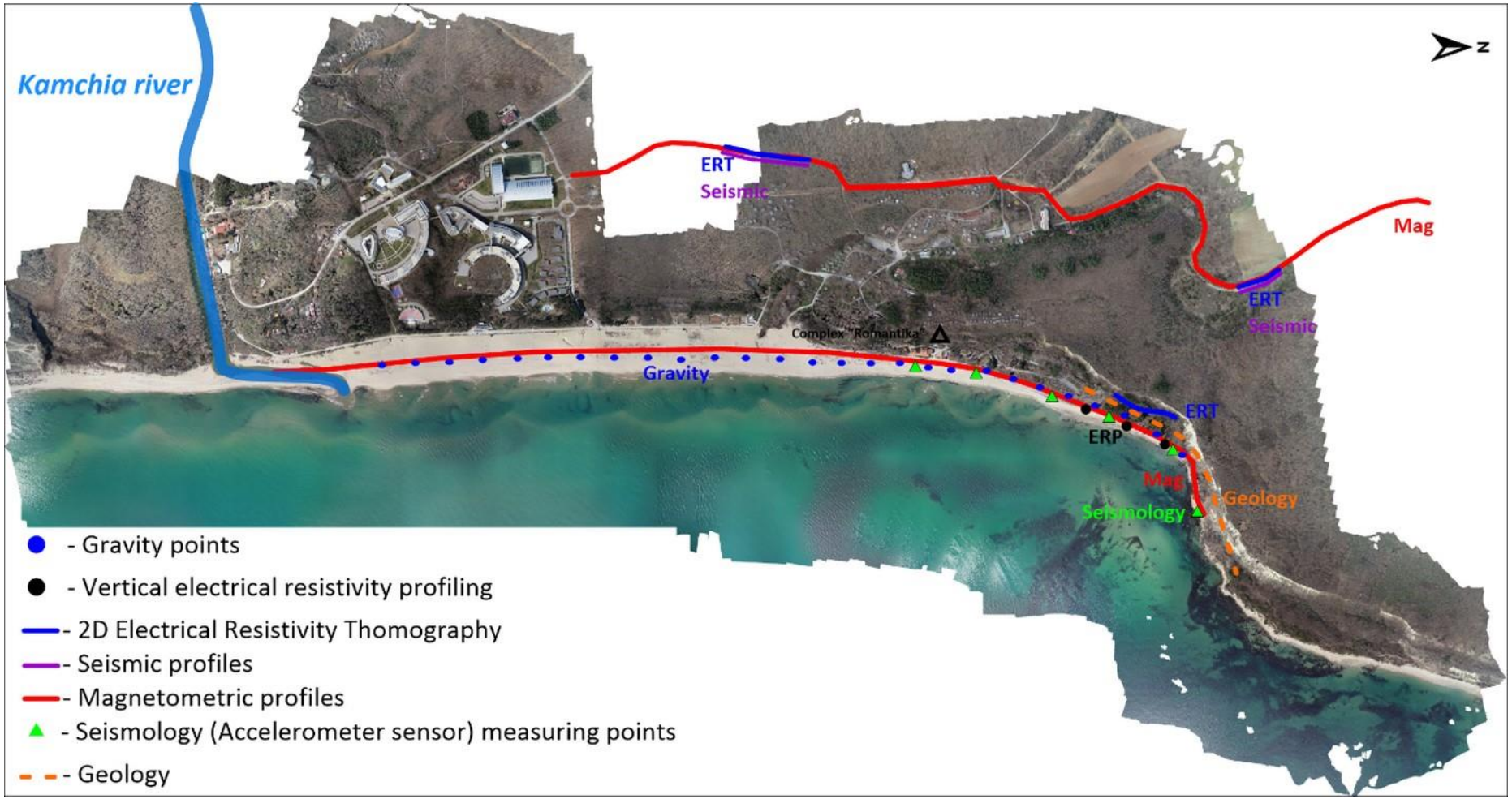
The training started with a presentation, containing the following sections:

- Introduction to sedimentary rocks and their features;
- Sedimentary sections description;
- Review of the most basic and frequently used laboratory methods for analyses of sedimentary rocks;
- Introduction to facies analysis and sedimentary environments interpretation;
- Short description on reservoirs and source rocks properties, and types of oil and gas traps;
- Stratigraphy of the Galata Fm.

The accent of the geological training was put on describing a sedimentary outcrop/section and gathering field observational data.



Collected data



Geophysical studies

- Electrical resistivity metho
- Ground-penetrating radar (
- Geomagnetic surveying.
- Kappametry.
- Gravimetrical surveys
- Seismic survey
- H/V spectral ratio
- Aero-photogrammetry.

















Seismic investigations





Seismic profiling (refraction method) along two lines having a total length of 230 m (each line has a length of 115 m).

Practical tasks – Seismic investigations

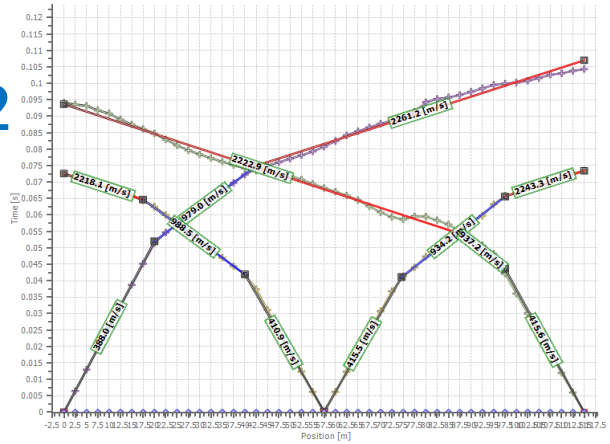




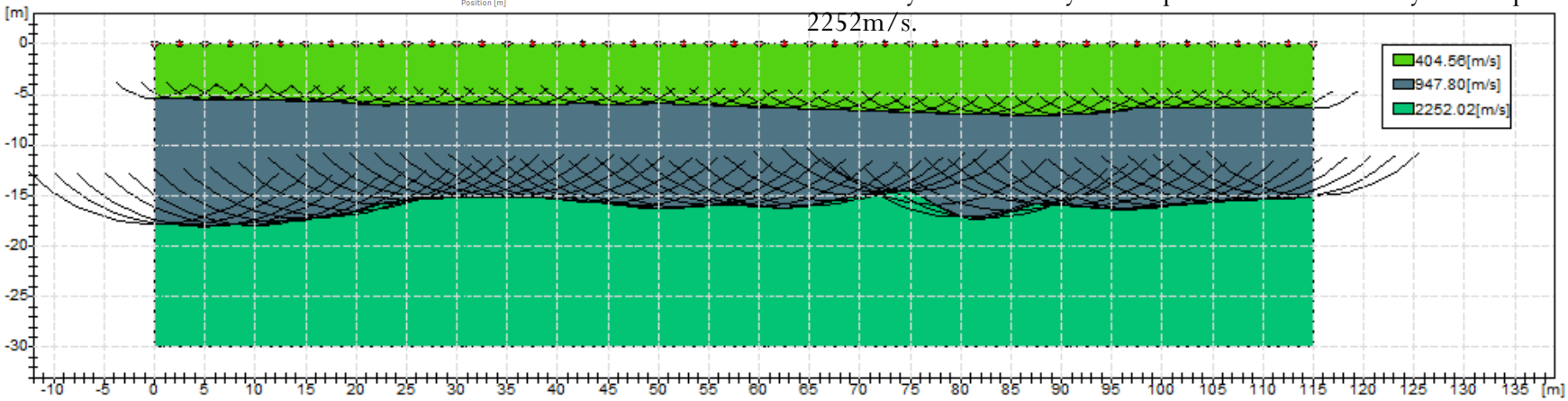


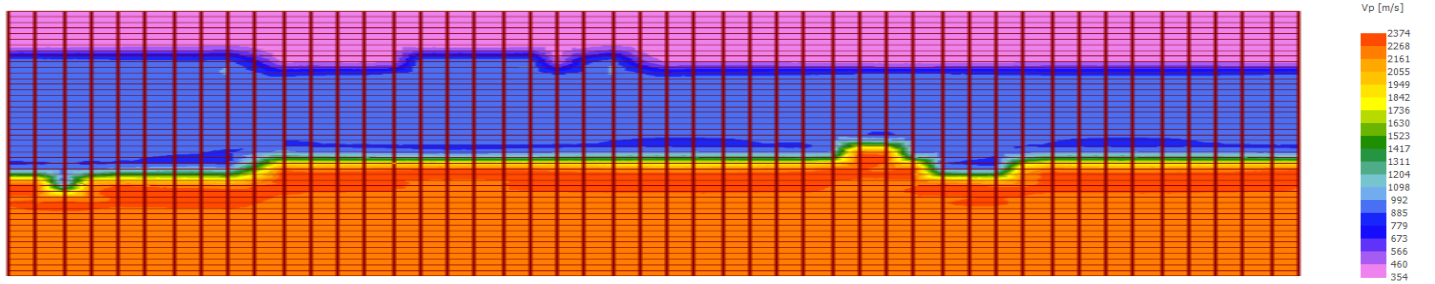
Practical tasks – Seismic investigations

Profile 2



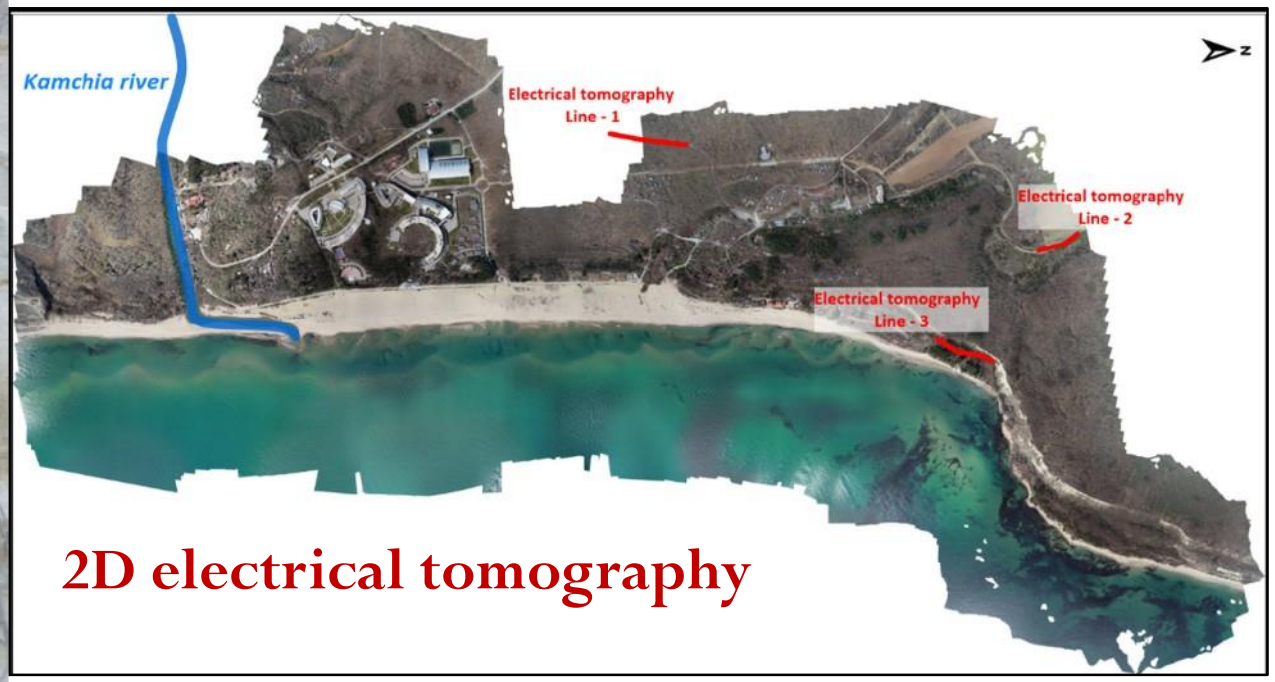
- **Layer 1** comprises the upper part of the geological section, composed of the near-surface soil layer, clayey sands and unattached sands. Thickness of this layer varies from 5 up to 6 m. The established velocity of compressional wave for Layer 1 is Vp = 404 m/s.
- **Layer 2** maps the layer of compacted sands. Thickness of this layer varies from 8 up to 13 m. The established velocity of compressional wave for Layer 2 is Vp = 947m/s.
- **Layer 3** maps the same geological variety-compacted sands and dense clays. The velocity of compressional wave for Layer 3 is Vp = 2252m/s.





Electrical resistivity investigations





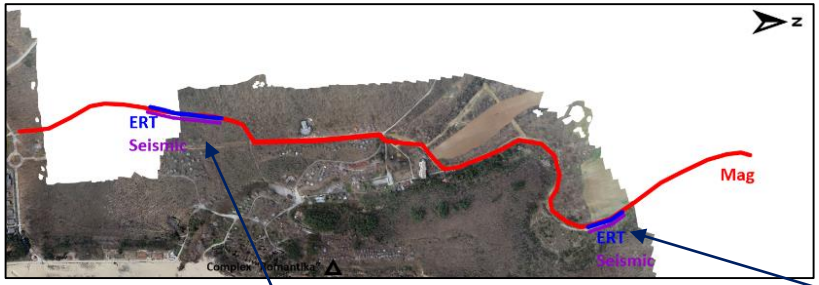
Practical tasks – 2D electrical tomography

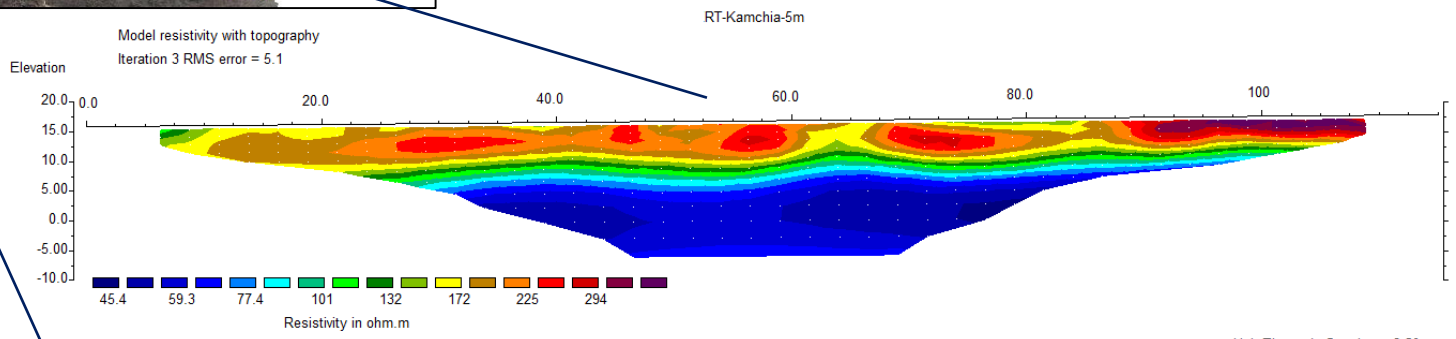


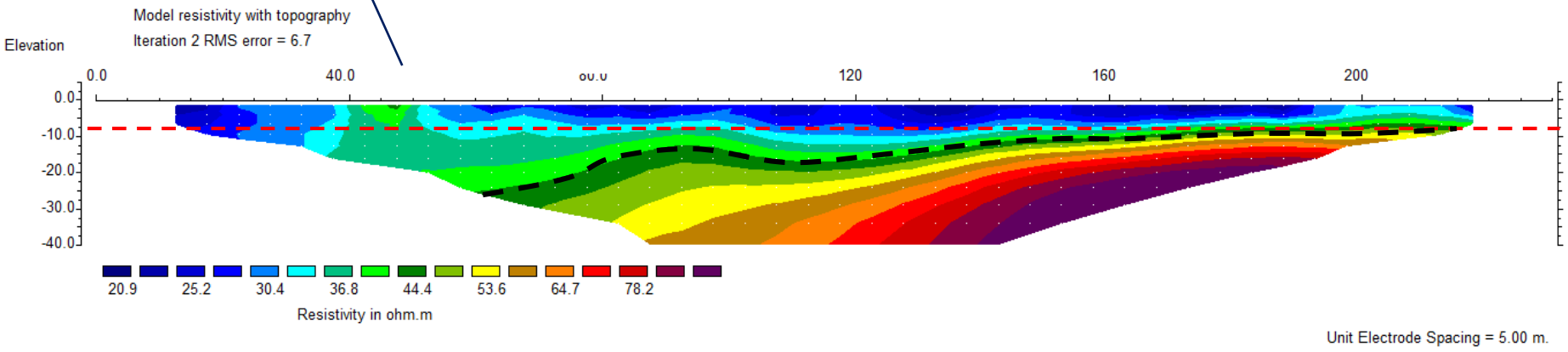




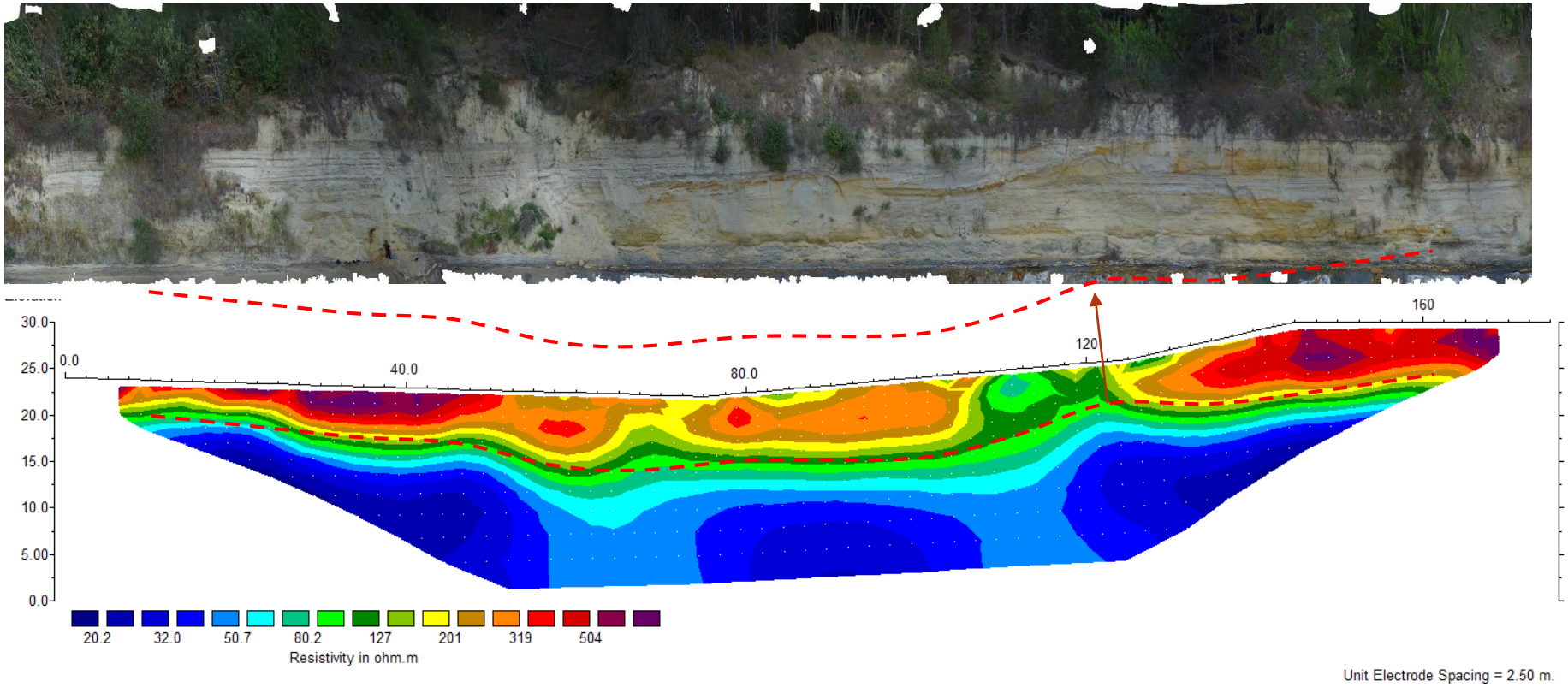
Practical tasks – 2D electrical tomography





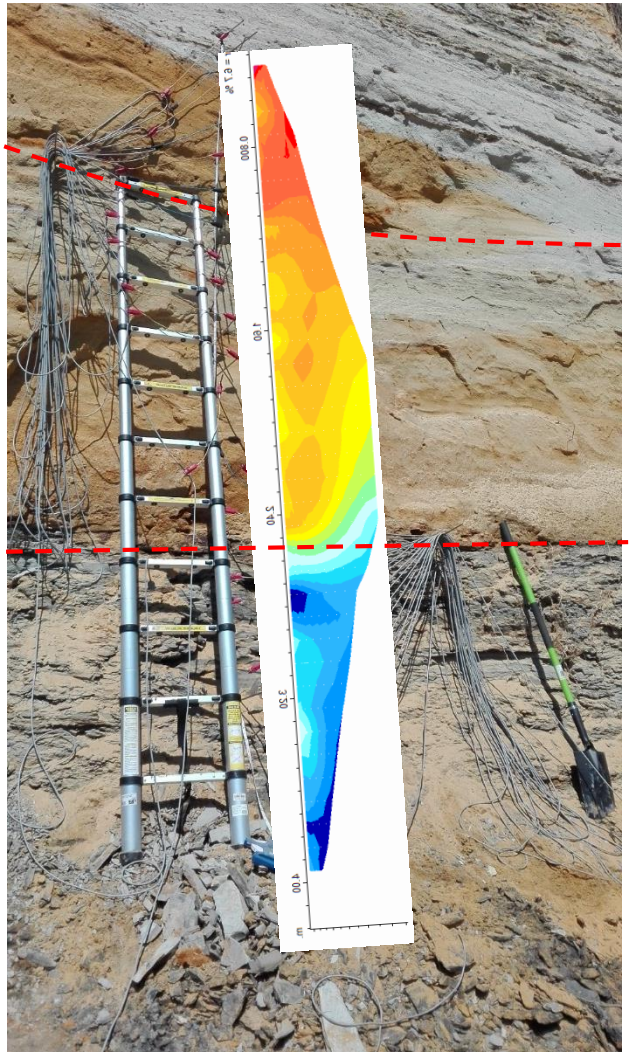


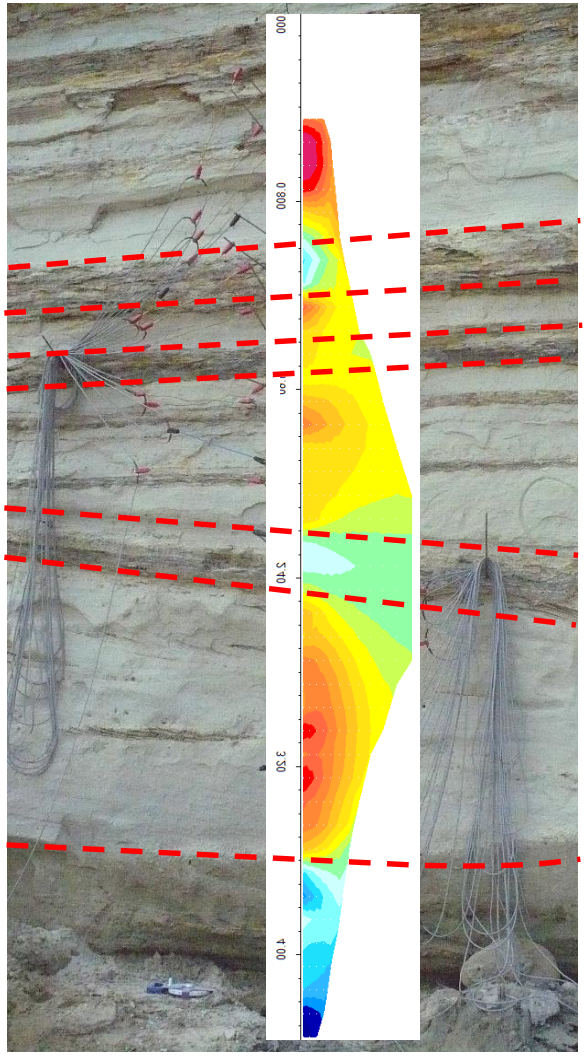
Practical tasks – 2D electrical tomography



The first electrical resistivity media (zone A) is characterized by the highest values of the electrical resistivity for the studied geoelectrical section-in the range from 50 m up to more then 500 m.
This zone maps the upper part of the Neogene sediment complex. It is composed of brown to yellow-brown sands with different grain composition.
The second electrical resistivity media (zone B) is characterized by relatively low values of the electrical resistivity for the studied geoelectrical section-in the range from about 20 m up to 50 m. It is composed of gray sandy clays. Underneath are spread gray to black solid clays.

Practical tasks – 2D electrical tomography





Practical tasks – Gravity

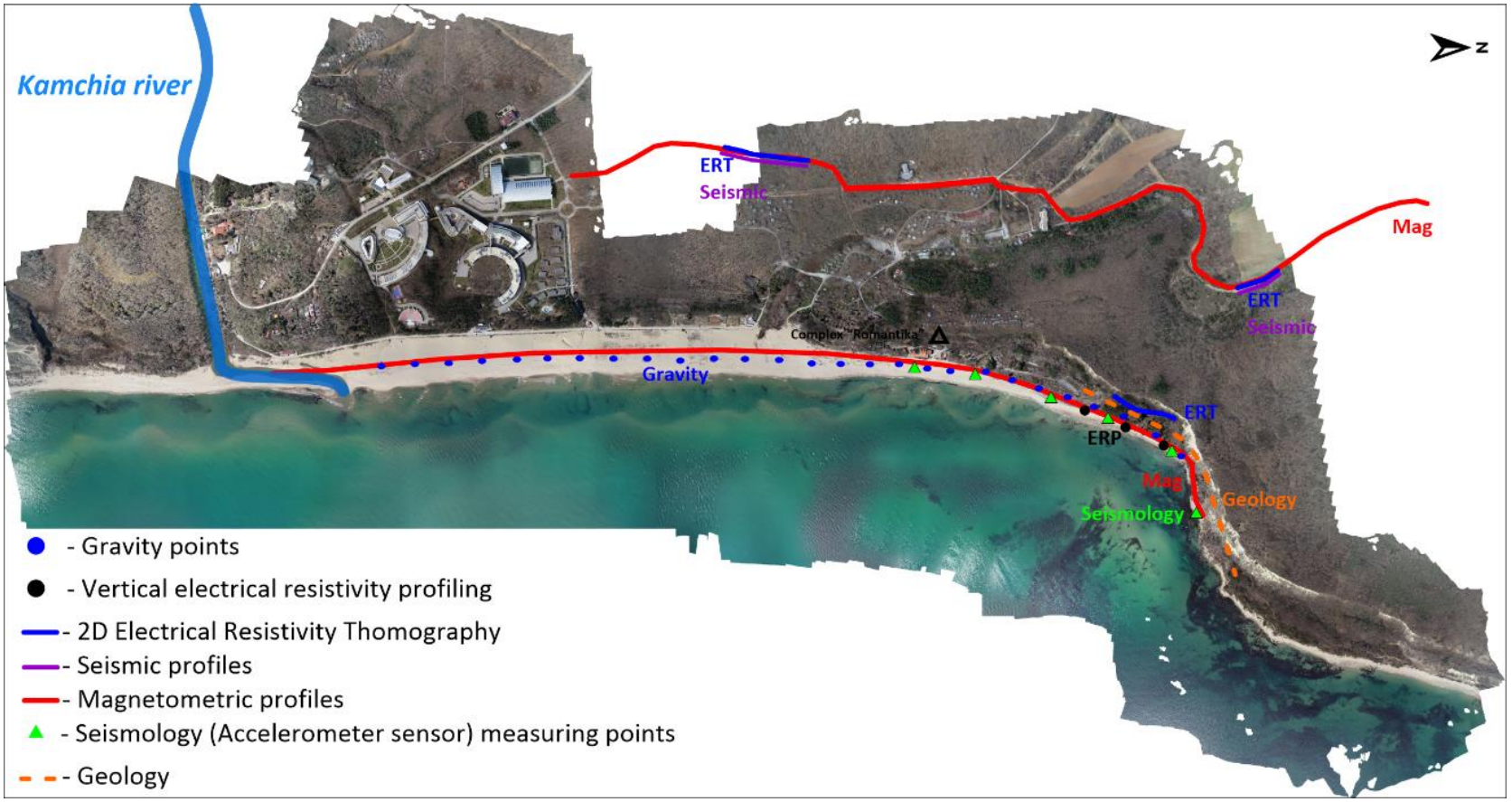






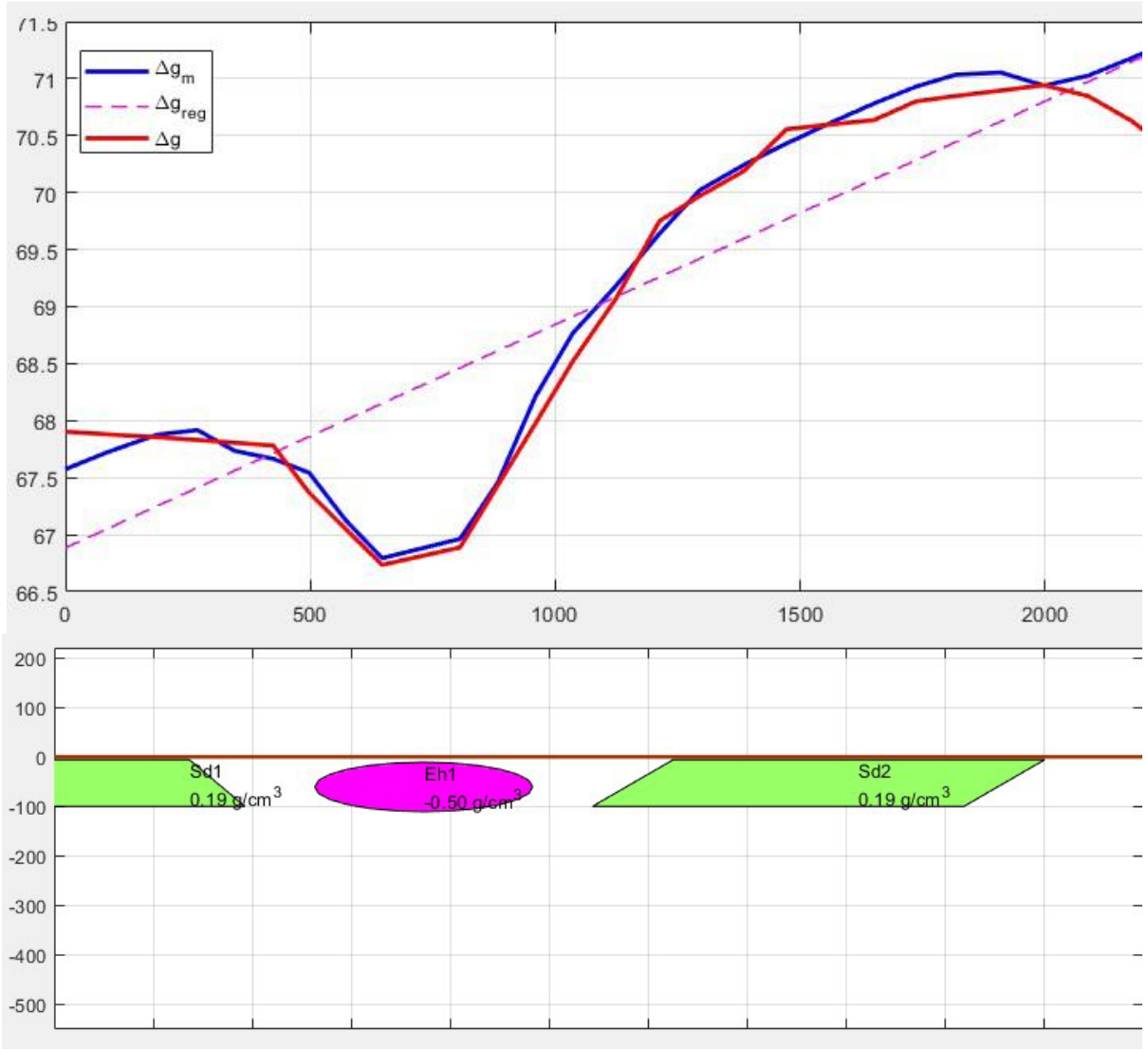


Results from Gravimetrical surveys



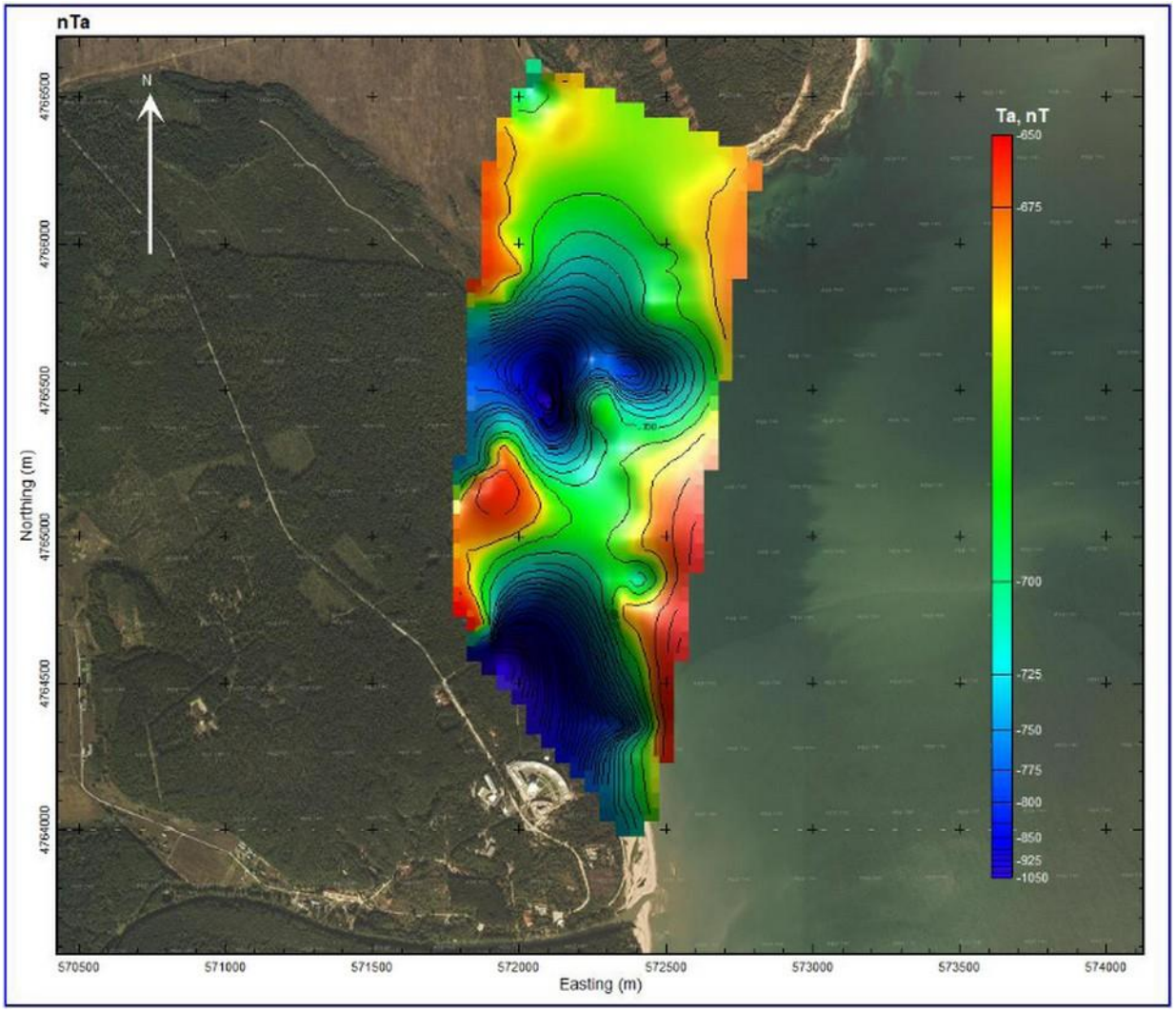
A gravimetric profile was measured (Gravimetric Profile 1) parallel to the coastline beginning - from the mouth of the Kamchia River in the south and ending - after the Romantika campsite in the north. The length of the profile is about 2200 m and consists of 26 measuring points located at an average distance of 88 m from each other.

Results from Gravimetrical surveys



Results from the gravity inversion of the Bouguer anomaly along Gravimetric profile 1

Practical tasks – Magnetometry



Map of the distribution of the geomagnetic field in the investigated area.

Practical tasks – Georadar



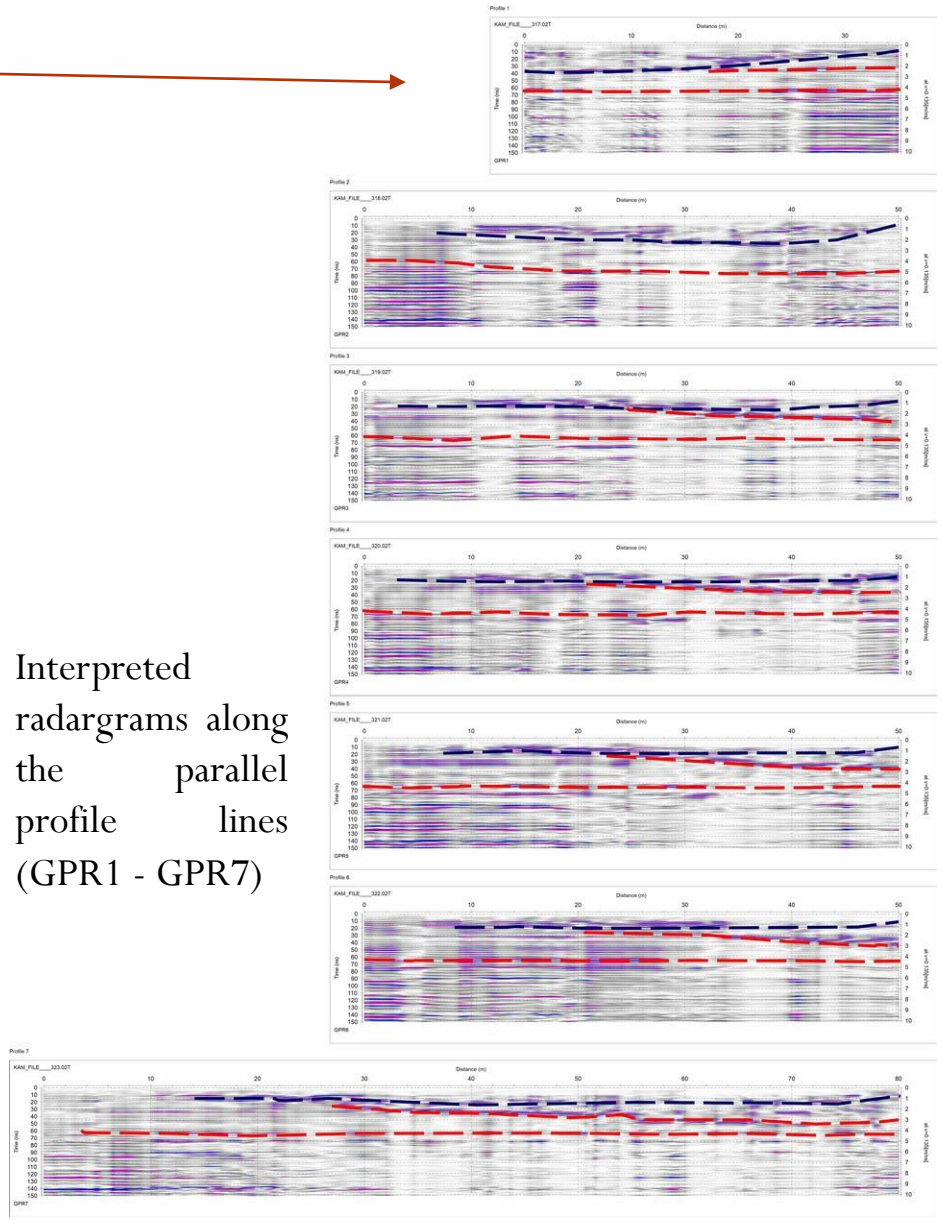




Practical tasks – Georadar



Interpreted radargrams along the parallel profile lines (GPR1 - GPR7)



Practical tasks – Seismology

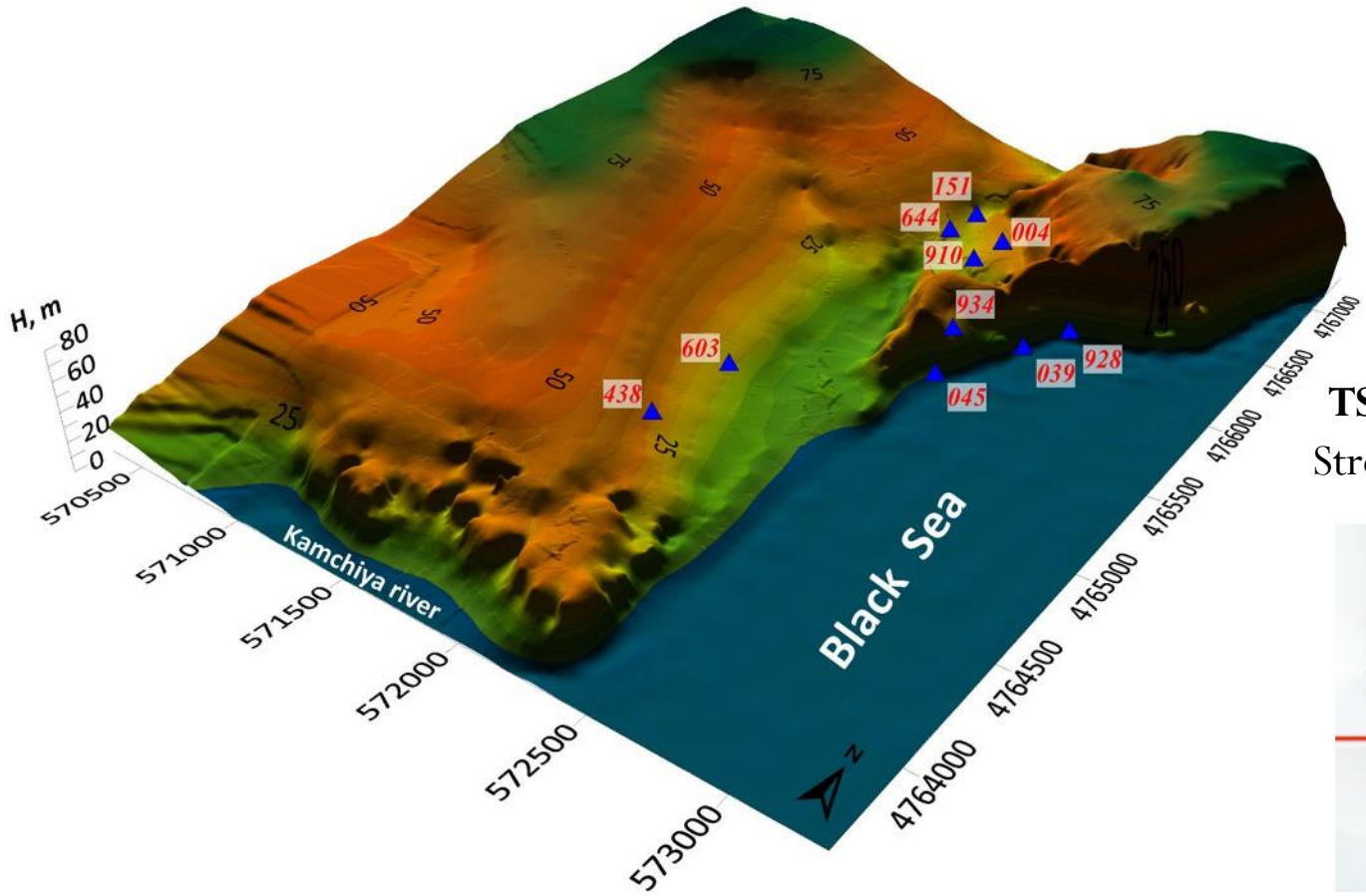








Practical tasks – Seismology



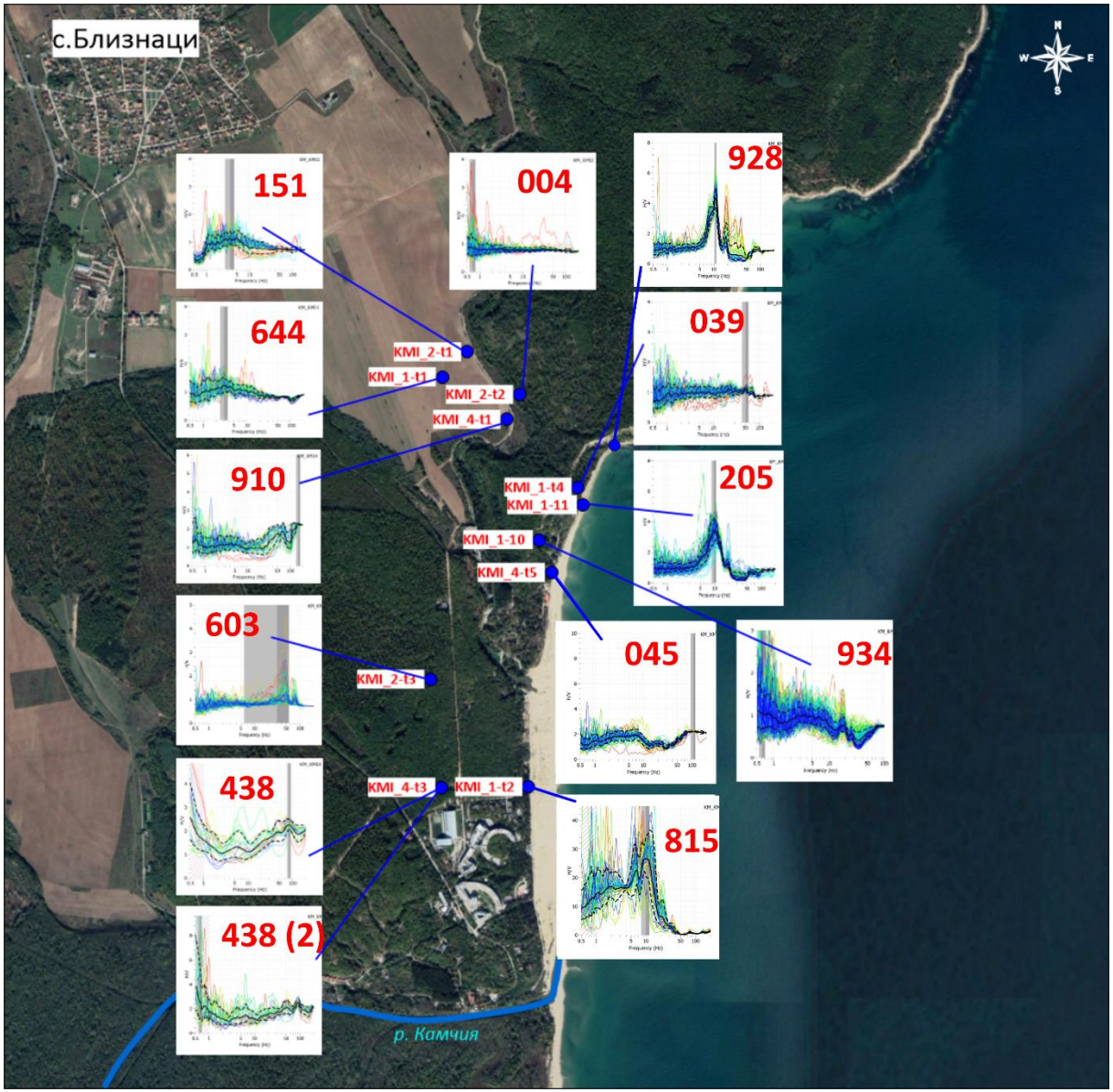
TSA-SMA Internet-Ready Strong Motion Accelerograph



About 11 point were selected for seismic noise recording in the studied area. Recording was performed with seismic equipment - EQMet's TSA-SMA Accelerographs.

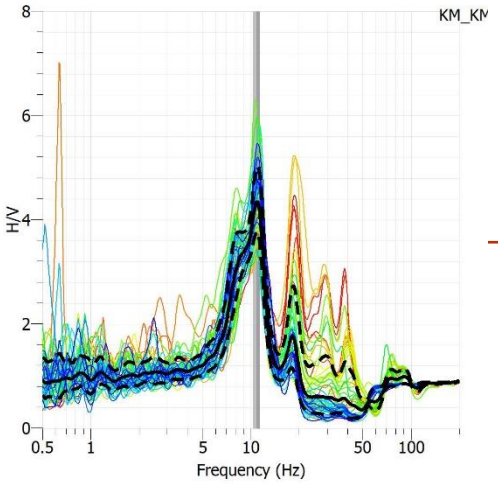
TSA-SMA is a 3-channel, 24-bit Strong Motion Accelerograph with flat response in range 0.5 Hz to about 100 Hz. The three channels of acceleration deliver data at sample rates up to 500sps.

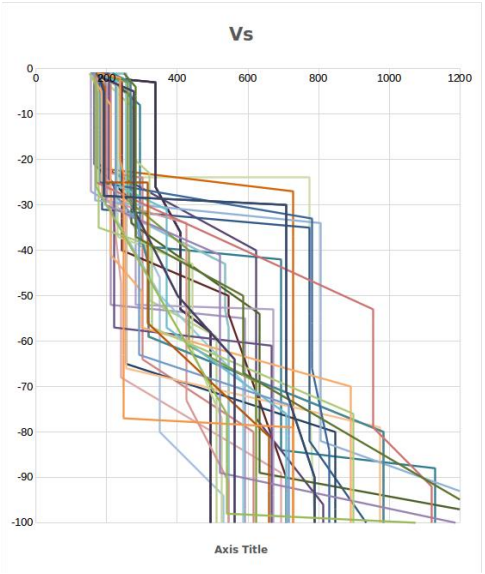
Practical tasks – Seismology



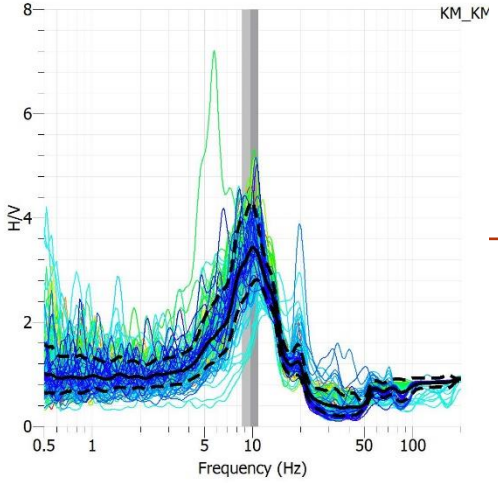
Practical tasks – Seismology

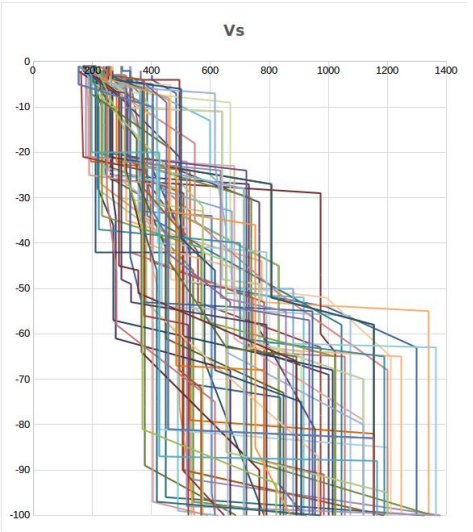
Point - 928





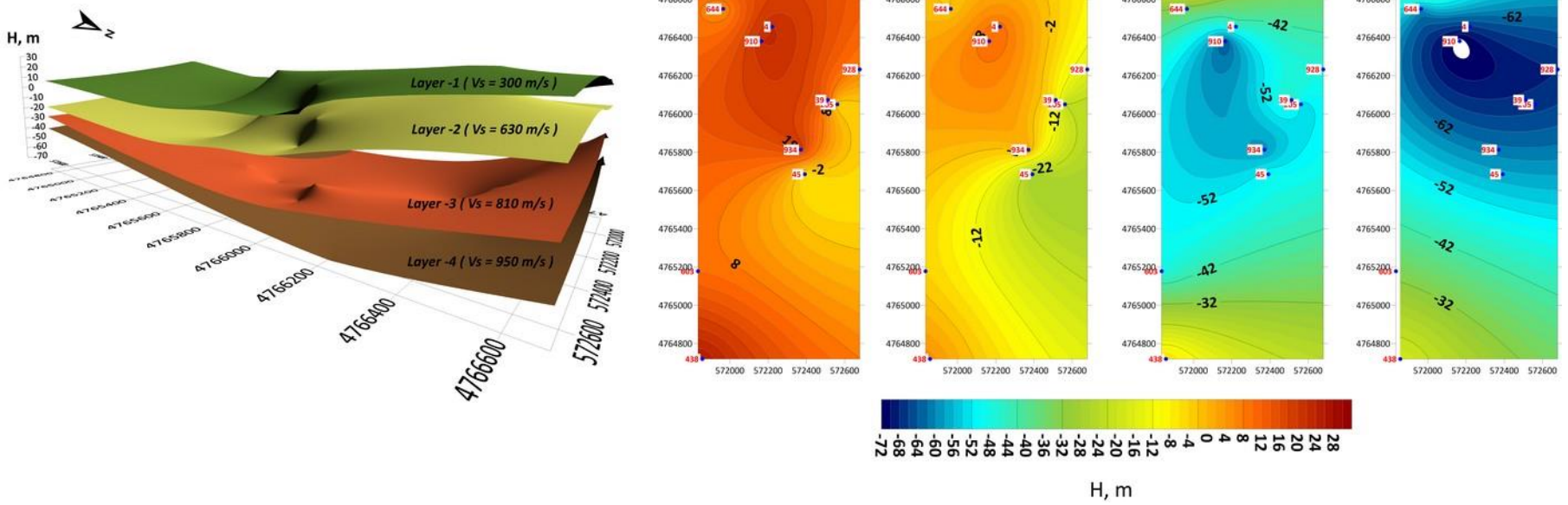
Point - 205





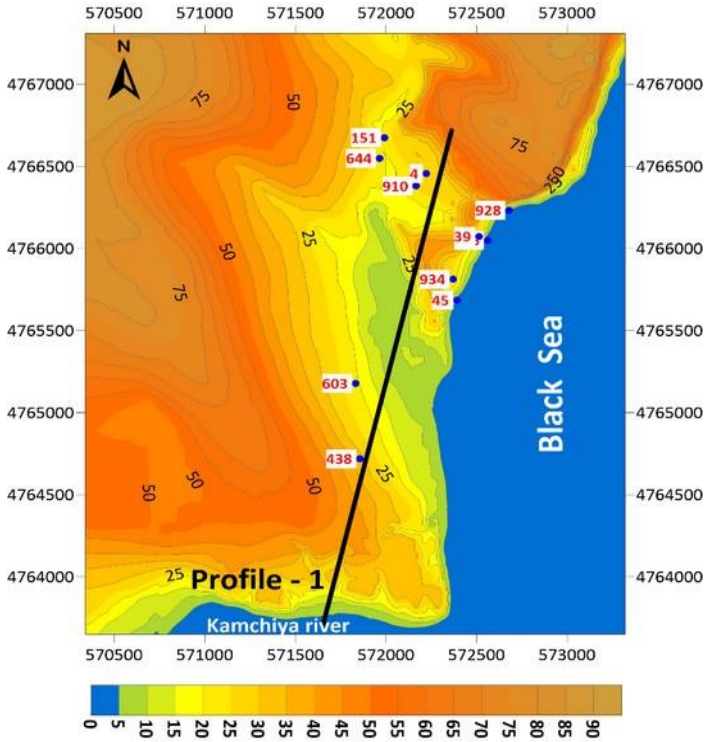
Practical tasks – Seismology

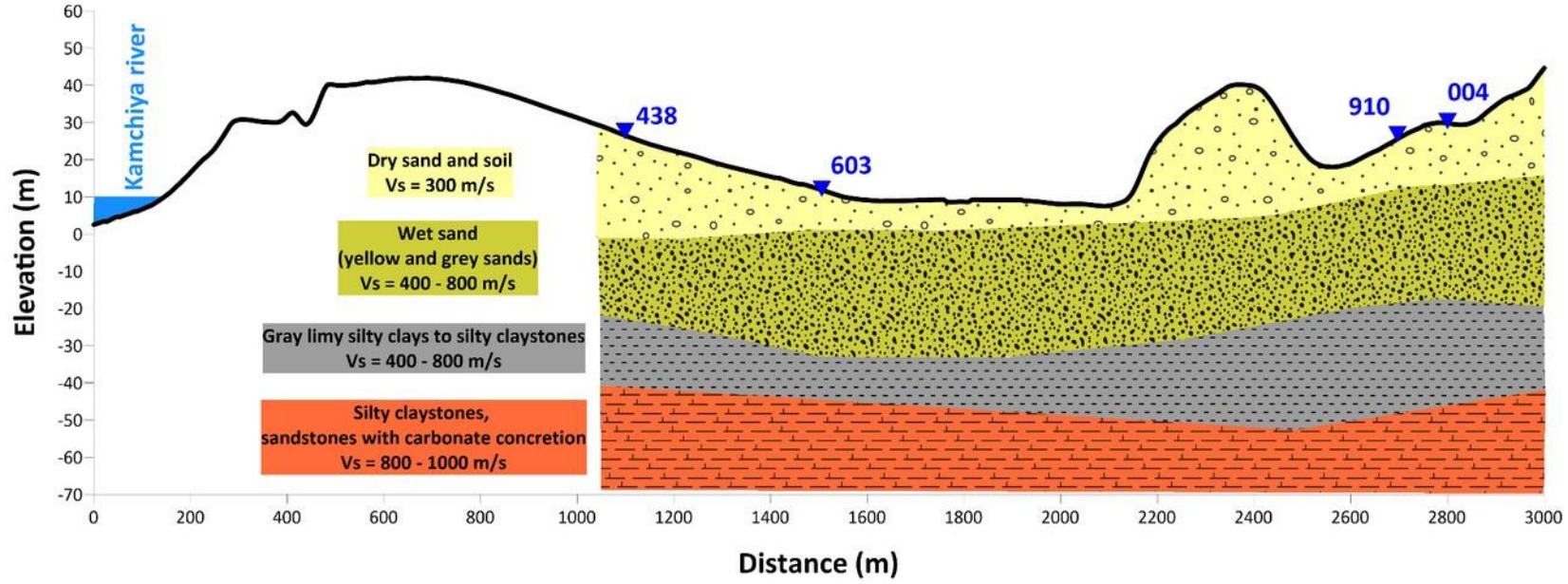
Inversion of H/V curves for each measuring point was performed and S waves velocity models obtained. Four main layers are recognized on the velocity models.
With the data from measuring point a 3D map of discontinuities between the layers is produced.



Conclusions

From the obtained 2D geoelectrical, seismological (H/V method) and seismic profiles, three major layers are very well distinguished





Conclusions

• First one is characterized by low velocities of seismic waves (about 400 m/s for P waves) and high values of electrical resistivity. It consists of unbound dry sands and soil.

• The second layer is with higher P waves velocities (700-900 m/s) and consists of thin, medium, thick- and massive bedded light yellow and gray sands, interbedded with thinbedded dark gray and brown non-calcareous silty clays and silts.

• The third main layer has very low values of electrical resistivity (between 20 and 50 m), and very high P seismic waves velocities above 2000 m/s. This layer consists oft thin-bedded and thick-laminated gray limy and silty clays to claystones, interbedded with laterally continuous
and discontinuous thin beds of fine-grained sands and silts.

