

Иновация - комплексна геофизика в археологията (Южно Българско Черноморие)

Бойко Рангелов

Минно-геоложки университет, София, България

brangelov@gmail.com

Innovation: Complex Geophysics in the Field of Archaeology (South Bulgarian Black Sea Coastline)

Boyko Rangelov

Mining and geology University “St. Ivan Rilski”, Sofia, Bulgaria

brangelov@gmail.com

Резюме: В тази разработка са представени обобщения на резултатите от целеви комплексни геофизични изследвания на открити или предполагаеми древни археологически обекти, консултирани предварително със специалисти археолози от НАИМ-БАН. Приложеният комплекс от методи на плитката геофизика се оказва основно предимство за повишаване на ефективността на проучванията. Известно е, че методите на приложната геофизика боравят с т.н. обратни геофизични задачи, които нямат еднозначно решение. За да се намали тази нееднозначност, са използвани методи които взаимно се допълват и така улесняват интерпретацията на получените резултати.

Ключови думи: геофизика, археология, Южно Българско Черноморие.

Abstract: The study examines the results of complex geophysical research of three archaeological sites located near the southern part of the Black Sea coastline in Bulgaria: Propadnalata Voda, Atiya, and Alepu. The authors discuss the use of complex geophysical methods in archaeology depending on the objectives of archaeological research, on the one hand, and the likely properties of the archaeological sites, on the other. As known, the methods of applied geophysics involve reverse geophysical problems, which do not have definitive solutions. To overcome potential ambiguities in this regard, the study demonstrates how the complementary use of different methods makes the interpretation of the final results easier.

Key words: geophysics, archaeology, South Bulgarian Black Sea coast

Въведение

Използването на геофизични методи (т.н. плитка геофизика) за целите на археологията има широки възможности за откриване, очертаване и картировка на археологически обекти. Те могат да имат различен характер – могили, некрополи, стени, пещи, уникални артефакти, метални и неметални изделия и др. [Leshtakov et al, 2017; Zidarov et al, 2017]. Представените резултати са обобщение на широкомащабни геофизични проучвания на различни по характер археологически обекти, които поради огромния обем от получени материали са представени доста илюстративно, като са подбрани най-характерни примери от полевите измервания и резултати от

интерпретацията с предимно практическа насоченост. [Stavrev et al. 2019; Dimovski et al, 2020]. Цялостната методика и техника на измерванията за конкретните представени обекти са показани в [Ranguelov, 2021]. За уточняване на реалните стойности за ефективност и приблизителната дълбочинност на отделните методи е съставена обобщена таблица – Табл.1.

Таблица 1. Геофизични методи, ориентировъчна дълбочинност и ефективност за археологически обекти

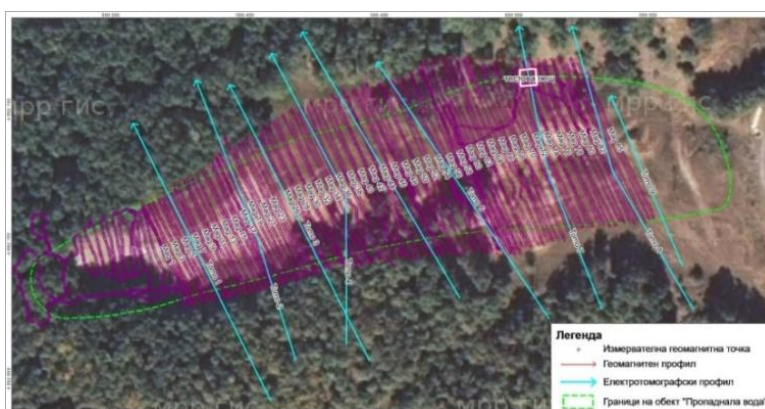
Метод/(Дълбочинност – в метри). Ефективност (Е) в % за целите на:	Търсене и окопване на строителни структури и могили	Търсене на древни пещи	Търсене и окопване на древни рупи и халди	Търсене на празни подземни пространства
Гравиметрия (при 0.2-0.3 g/cm ³ плътностна разлика)	(1~100) при наличие на плътностни нееднородности Е – до 70-80%	(1~10-20) при наличие на плътностни нееднородности Е – до 80-90%	(1~10-20) при наличие на плътностни нееднородности Е – до 80-90%	(1~10-20) при наличие на плътностни нееднородности Е – до 80-90%
Магнитометрия	(1 – 50-60) при наличие на феромагнитни минерали Е – 90-95%	(1 – 20) при наличие на феромагнитни минерали Е – 95-100%	(1 – 20) при наличие на феромагнитни минерали Е – 90-95%	(1 – 20) Е – 65-70%
Електрометрия (Електромография)	(1-15) в зависимост от електросъпро- тивлението Е-40-60%	(1-15) в зависимост от електросъпро- тивлението Е-60-80%	(1-10) в зависимост от електросъпро- тивлението Е-60-80%	(1-20) в зависимост от електросъпро- тивлението Е-80-90%
Георадар	(1~10-15) в зависимост от типа на антената Е-50-60%	(1~10-15) в зависимост от типа на антената Е-60-80%	(1-10) в зависимост от типа на антената Е-60-70%	(1-10) в зависимост от типа на антената Е-80-90%
Металометрия	(1-5) при наличие на метал Е~100%	(1-5) при наличие на метал Е~100%	(1-5) при наличие на метал Е~100%	Е-0%
Радиометрия	(1-3) при наличие на радиация Е- 40-50%	(1-3) при наличие на радиация Е- 40-50%	(1-2) при наличие на радиация Е- 95-100%	(1-3) при наличие на радон Е-80-90%
Капаметрия	(0.1-0.2) при наличие на феромагнитни минерали Е- 70-80%	(0.1-0.2) при наличие на феромагнитни минерали Е- 90-95%	(0.1-0.2) при наличие на феромагнитни минерали Е- 80-90%	Е-80-90%

Забележка: Тази таблица е създадена постфактум, след приключване на изследванията в района, като са използвани данни и от предишни геофизични проучвания на археологически обекти: [Radichev et al, 2013a; Radichev et al 2013b; Tzankov et al 2015a; Tzankov et al 2015b; Kisyov, Tzankov, 2015; Leshtakov et al, 2015; Zidarov et al, 2016].

1. Геофизични изследвания на археологически обекти

1.1. Обект „Пропаднала вода“

В рамките на археоложки обект „Пропаднала вода“ са извършени серия геофизични дейности [Leshtakov et al, 2016], включващи геомагнитни, радиометрични и капаметрични площни измервания, електротомографско и георадарно профилиране, както и капаметрично опробване по разкрития и характерни образци (Фиг. 1, Фиг. 2 и Фиг. 3). Основната цел на проучванията е отделяне на геоложки структури, които биха могли да бъдат свързани с тектонски нарушения и свързани с това орудявания, експлоатирани в древността. На повърхността са открити много следи от антропогенна дейност (фрагменти от керамични съдове и следи от древни пещи, най-вероятно за обработка на добивана руда), които дават насока на изследователите. Районът е бил разработван за промишлен добив на мед дори до средата на 20. век. [Tzankov et al, 2017] Голяма част от древните останки са били заличени, затова проучванията са насочени основно за обследване на геоложката обстановка и възможна идентификация на археологически обекти. За по-лесна визуализация е използван дрон Tzankov, Kisyov, 2016.



Фиг. 1. Схема на разположение на геомагнитните обходи, геомагнитните и електротомографските профили в района на археоложки обект „Пропаднала вода“



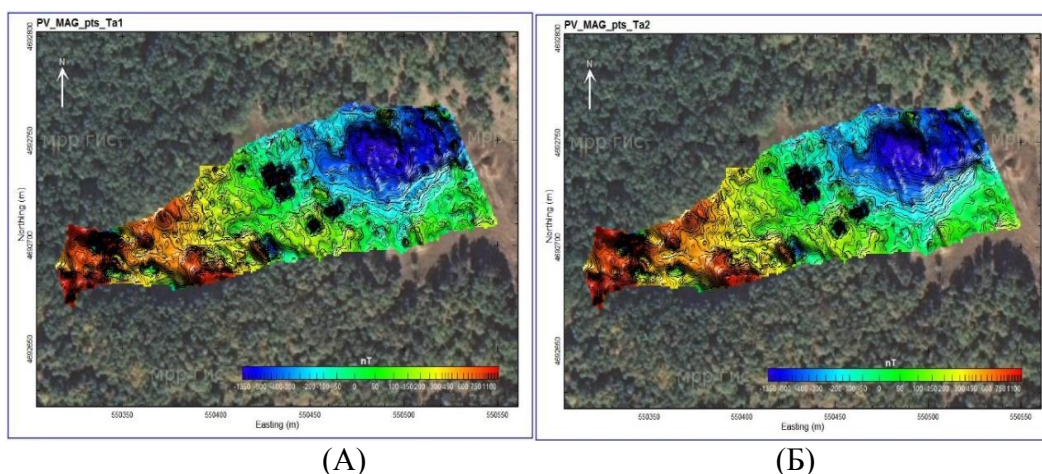
Фиг. 2. Схема на разположение на радиометричните измервания и георадарните профили със средночестотна и нискочестотна антена в района на археоложки обект „Пропаднала вода“



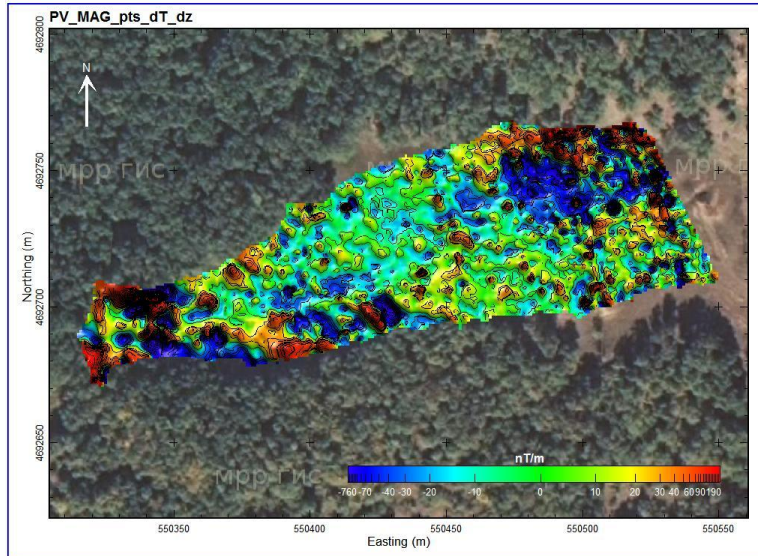
Фиг. 3. Схема на разположението на капаметричните точки в района на археологически обект „Пропаднала вода“

Магнитна снимка

Геомагнитната снимка е проведена по мрежа от разположени през 2 m успоредни профили с посока юг-югоизток – север-северозапад, обходени зигзагообразно. Външният контур на мрежата има неправилна форма, съобразена с проходимостта в оградящата обекта горска растителност (Фиг. 1). Допълнително, в най-високата западна част на „Пропаднала вода“, поради трудности при полагането на профилна мрежа, са извършени измервания по свободни маршрути по пътеки и проходими участъци между дърветата. При геомагнитните измервания са определени стойностите на вертикалния магнитен градиент при долен сензор на ниво 1,5 m и разстояние до горния 0,6 m (Фиг. 4 А и Б, и Фиг. 5). В рамките на площта са прокарани 85 геомагнитни профила със средна дължина 64 m (минимална дължина 42 m и максимална дължина 79 m). Общата дължина на геомагнитните профили възлиза на 5422 m. Магнитната снимка обхваща площ от 13,0 дка, от които 10,7 дка по профилната мрежа и 2,3 дка от обходите в западната част на обекта. Установените аномалии са относителни и в рамките от – 1300 до +1100 nT

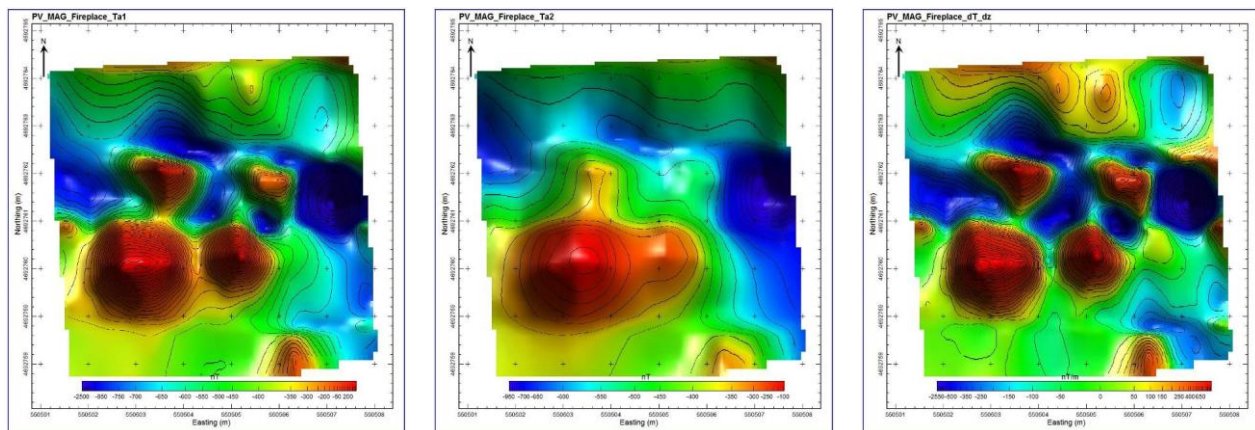


Фиг. 4. Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле Ta_1 за първо ниво (А) и Ta_2 за второ ниво (Б) на градиентометъра в обект „Пропаднала вода“



Фиг. 5. Карта на вертикалния градиент $\partial T/\partial z$ на геомагнитното поле в обект „Пропаднала вода“

В североизточната част на обекта се разкрива участък с концентрация на керамика. По предварителни данни [Leshtakov et al, 2016a] се счита, че става въпрос за останки от металургична пещ. Поради тази причина в рамките на малък квадратен участък със страна 6 m, разположен около разкритието, са извършени тестови магнитометрични измервания по мрежа с гъстота 0,5 x 0,5 m (Фиг. 3). Целта е създаване на еталон за магнитния ефект на древна металургична пещ за изследвания район. Измерванията са проведени при първи сензор, разположен на 20 cm над терена и втори – на 60 cm над него.



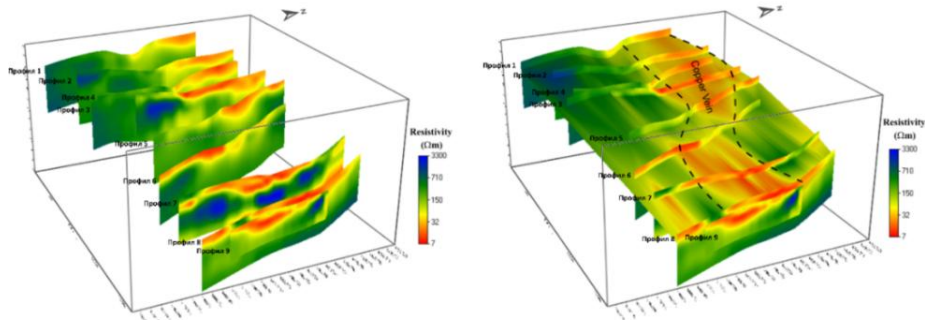
Фиг. 6. Детайлни карти на магнитната аномалия над останки от металургична пещ в обект „Пропаднала вода“ за първо ниво Ta_1 (вляво) за второ ниво Ta_2 (в средата) и на градиента $\partial T/\partial z$ (вдясно)

Получените аномалии очевидно водят до извода, че магнитометричният метод може да служи за идентификация на древната металургична пещ.

Електротомографско профилиране

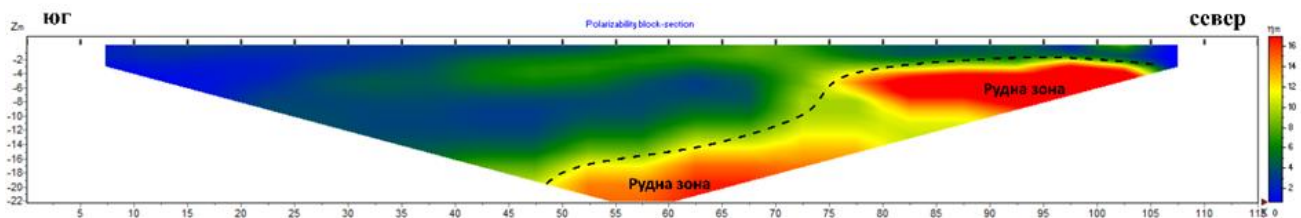
Обект „Пропаднала вода“ е проучен и чрез 9 електротомографски профила (Фиг. 1). Профилите са разположени напречно на дългата страна на площта с приблизителна посока югоизток – северозапад. Профилите са измерени по четириелектродна схема Венер-Шлюмберже, като за целта са използвани две трасета с по 12 електрода всяко. Разстоянието между отделните електроди при първите осем профила е 5 m, а на последния девети профил – 3 m. По този начин за дългите профили се гарантира дълбочина на измерване до 20 m, а за късия профил съответно около 12 m. Общата дължина на електросъпротивителните профили в площта е 989 m.

От получените електросъпротивителни разрези е съставен 3D модел (Фиг. 7), на който ясно може да се проследи разположението на рудоносната жила. С цел да се потвърди наличието на орудявания, през втория етап на проучването бе направено и допълнително измерване по метода на предизвиканата поляризация (ПП), с чиято помощ ясно могат да се отделят зоните с повишена рудна минерализация. Целесъобразно е избран един контролен профил (съвпадащ с профил 5 от електросъпротивителните проучвания).



Фиг. 7. 3D модел на електричното съпротивление, по 9 електросъпротивителни профила

На получения разрез по метода на предизвиканата поляризация (Фиг. 8), много отчетливо се отделя зона, характеризираща се с понижени стойности на съпротивлението (7-10 ом.м). Вижда се, че има две основни зони, първата (във вид на леща) се разполага на дълбочина от 4 метра под земната повърхност и има мощност от порядъка на 6 – 8 m. Дължината ѝ е около 25 m, но най-вероятно продължава в северна посока. Втората зона започва от двадесетия метър и се развива в дълбочина.

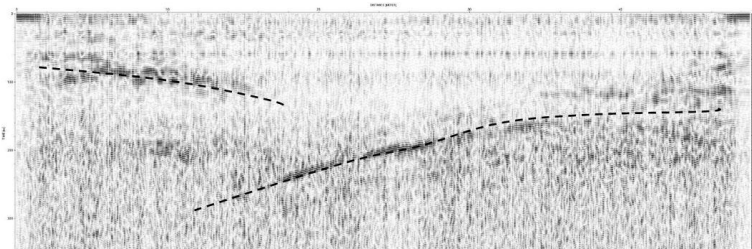


Фиг. 8. Разрез по метода на предизвиканата поляризация, съвпадащ с електросъпротивителен Профил 5

Георадарно профилиране

Георадарните профили, прокарани в района на обект „Пропаднала вода“, са с направление югоизток – северозапад (Фиг. 2). Измерванията са извършени с два вида антени – средночестотна (270 MHz) и нискочестотна (106 MHz) антена. С антена модел 5104A са прокарани 7 георадарни профили с обща дължина 311 m. Първите 5 профила имат средна дължина 51 m, пресичат рудната жила в централната част на площта. Останалите 20 георадарни профила (GPR 11 – GPR 30) са измерени с антена модел SE-150. Общата им дължина е 1161 m при средна дължина 58 m.

Обработените радарграми са използвани за създаването на индивидуален, триизмерен, георадарен модел за всеки един от проучените участъци. Тези модели улесняват значително осмислянето на пространствените връзки в натрупаните георадарни данни и набелязването на аномални зони. Извършени са наблюдения и анализ както по отделни срезове, така и на цялостните триизмерни модела при различни ъгли на завъртане. Данните са визуализирани по конкретни (филтрирани) интервали на амплитудите на сигнала. При интерпретацията са използвани комбинации от различни цветове палитри и филтри, подобряващи контраста на аномалиите. Наблюдават се ефекти, достигащи до 16 msec, оконтурващи рудната зона и потвърждаващи електротомографските измервания (Фиг. 9).



Фиг. 9. Радарграма по георадарен профил 19 (106 MHz) в обект „Пропаднала вода“

Радиометрична снимка

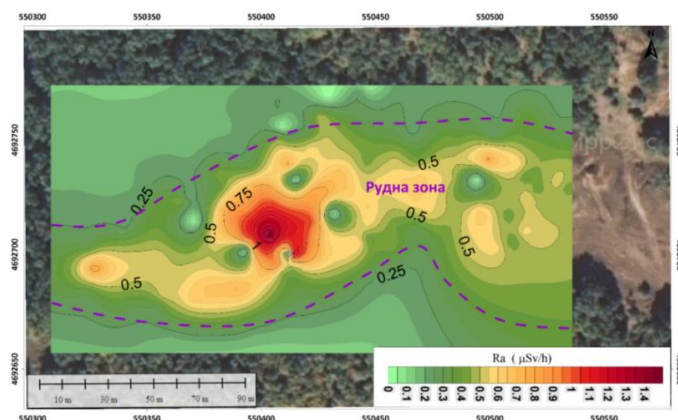
Извършени са контролни измервания на отделни скални образци и шлаки, намерени в границите на площта (Фиг. 2). Съгласно получените резултати е установено, че в скалите, разкриващи се в периферията на площта, които най-вероятно се явяват рудовместваща среда, стойностите на радиационния фон са в границите между 0,20 и 0,25 $\mu\text{Sv/h}$, което е в рамките на нормалния фон за района.

Поради факта, че медните залежи в района на бившата мина „Росен“ се характеризират със съпътстваща минерализация на урана, някои продуктивни жили и зони – вероятно експлоатирани и през древността, проявяват повишени стойности на радиационния фон в интервала 0,60 – 1,7 $\mu\text{Sv/h}$. Високите стойности на естествен радиационен фон на повърхността, измерени при обхода на обекта, доведоха до провеждане на детайлна радиометрична снимка. Естественият радиационен гама фон е определен в точки от мрежа със средна гъстота 5 x 5 m. Направени са 485 измервания, като въз основа на това е съставена карта на площ от 11 дка.

От получената карта на разпределението на естествения радиационен фон много добре може да се проследи разположението на рудната жила, характеризираща се с стойности над 0,8 $\mu\text{Sv/h}$, което е над три пъти естествения радиационен фон за района. В средата на проучваната площ се намира най-интензивната аномалия, достигаща до 1,7 $\mu\text{Sv/h}$ (Фиг.10). Тя се дължи на пропадане на стара минна изработка, при което до повърхността достига по-интензивно гама лъчение.

Капаметрични измервания

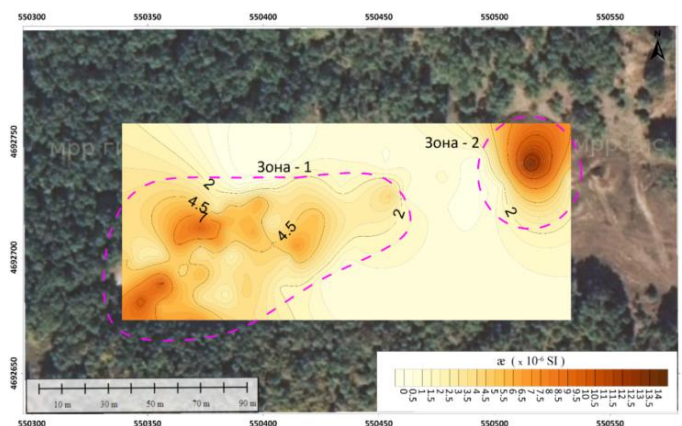
В допълнение са проведени серия измервания на магнитната възприемчивост по отделни скални образци, разкрития и почвени проби.



Фиг. 10. Карта на аномалните стойности на естественият радиационен гама фон в обект „Пропаднала вода“

След направените теренни измервания по време на първия етап на проучването, както и от събраните слани и рудни проби, шлаки и керамика се достигна до заключението, че има ясно отделяне на немагнитните вместващи скали, имащи стойности от $1,4 \times 10^{-6}$ SI, и силно магнитните шлаки достигащи до $118,7 \times 10^{-6}$ SI. Беше направено плочно проучване с гъстота на измервателните точки от 5 m. Проучваната площ бе с размери 200 m дължина и 85 m ширина (Фиг. 3). Направени са 720 измервания, като въз основа на това е съставена карта на площ от 16,6 дка, като по този начин се покрива целият обект на проучване.

От получената карта на разпределението на магнитната възприемчивост (Фиг. 11) се отделят две основни зони. Първата, Зона-1, имаща стойности между 2×10^{-6} SI и 11×10^{-6} SI, обхваща централната и югозападната част от изследваната площ, съвпада с основното направление на рудната жила. Втората, Зона – 2, намираща се в североизточния ъгъл на площта, имаща и най-интензивна стойност – над 14×10^{-6} S, съвпада с локализираната порано от геомагнитното проучване древна металургична пещ.



Фиг. 11. Карта на аномалните стойности на магнитната възприемчивост в обект „Пропаднала вода“

1.2. Обект „Атия“

Археоложкият обект попада в северните склонове на хълма, на който е разположено хвостохранилището на мина „Росен“, и продължава в земеделските земи северно от него. Обширната площ на обекта е разделена на два по-малки участъка, в които са концентрирани геофизичните проучвания. Границите на участъците са съобразени с откритите при теренните археологически обходи шлаки, керамика и метални стопилки (Фиг. 12), които свидетелстват за развитие на древен рудодобив и преработка на добитата руда в района. Проведени са геомагнитни и електротомографски изследвания, допълнени с радиометрични и капаметрични опробвания.

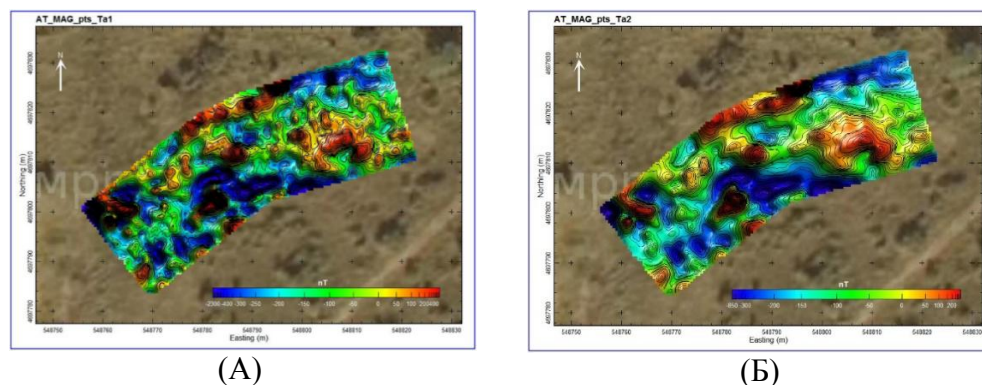
Магнитна снимка

В южния участък са прокарани 15 геомагнитни профила с дъгообразна форма с посока югозапад – североизток. Разстоянието между тях е 1,5 m. Средната дължина на профилите е 64 m, като общата им дължина в участъка е 958 m. Покритата с магнитна снимка площ е 1,34 дка, а броят измервателни точки – 1959.



Фиг. 12. Масивни блокове от стопилки а) и б) – останки от древна металургична дейност

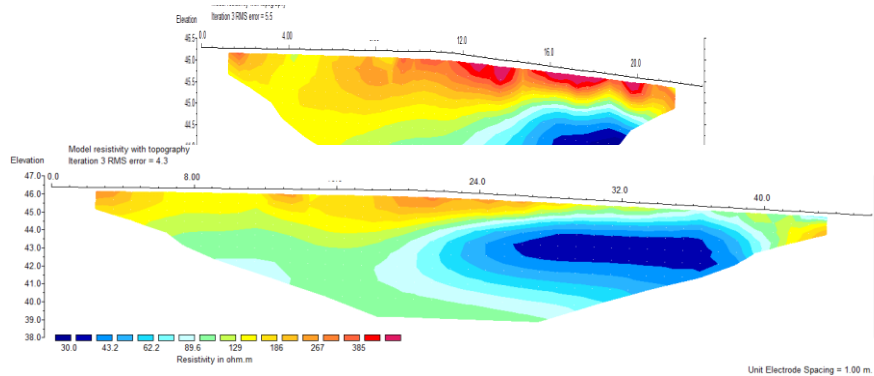
Северният участък е разделен на три квадрата със страна 30 m. Профилите са с направление юг – север, разположени успоредно един на друг през 1,5 m и са измерени зигзагообразно. Всеки квадрат е проучен с по 21 профила, т.е. общият им брой е 63, а общата дължина – 1860 m. Проучената площ е 2,7 дка. (Фиг. 13).



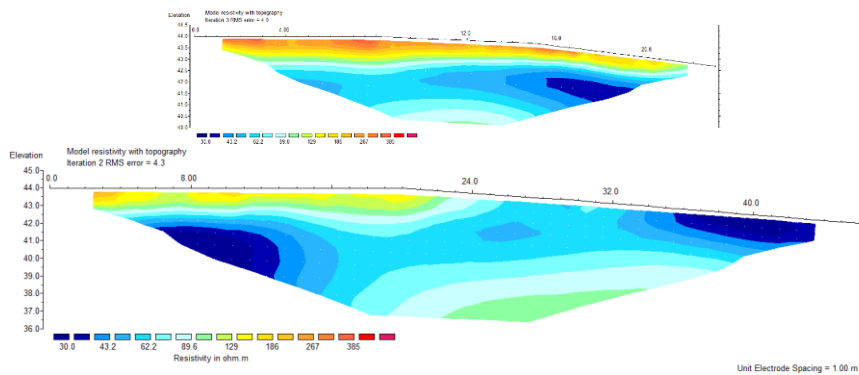
Фиг. 13. Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле Ta_1 за първо ниво (А) и Ta_2 за второ ниво (Б) на градиентометъра в обект „Атия“ – горен участък

Електротомографско профилиране

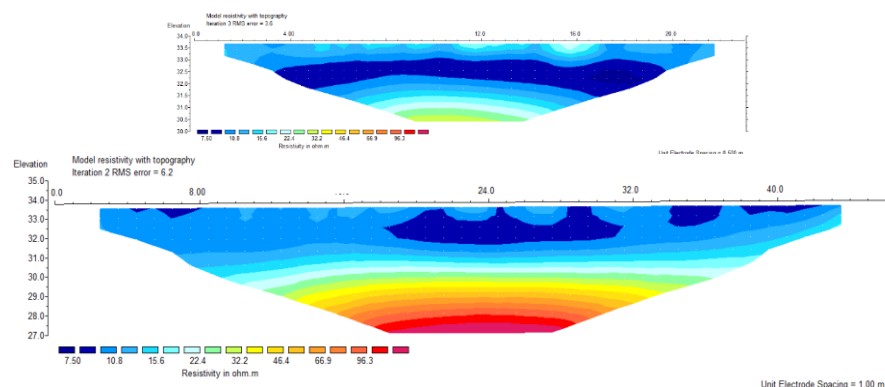
Използването на комбинация от две измервания с различни дължини на измервателните профили е с цел да се получи, от една страна, много детайлно проучване на приповърхностния разрез (първите 0,5-1,5 m), така че да се проследят струпванията от шлаки, а от друга – поглед и върху цялостния геоложки разрез на дълбочина до 10 m. Местоположението на профилите е съобразено с намиращите се в непосредствена близост блокове от стопилка. Резултатите са индикативни за наличието на стопилки и други електропроводящи обекти в района на измерването – Фиг. 14, Фиг. 15 и Фиг. 16.



Фиг. 14. Електросъпротивителен разрез по Профил 1 (обект „Атия“)



Фиг. 15. Електросъпротивителен разрез по Профил 2 (обект „Атия“)



Фиг. 16. Електросъпротивителен разрез по Профил 3 (обект „Атия“)

1.3. Обект „Алепу“

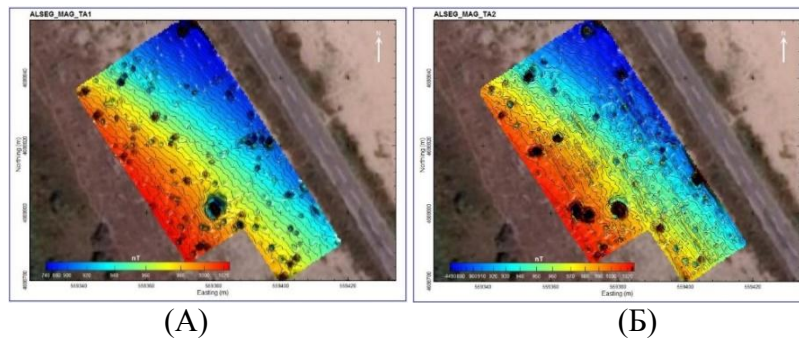
Археологическият обект се намира в южния край на блатото Алепу, от двете страни на шосето между курортът „Дюни“ и ваканционно селище „Свети Тома“. Геофизичните проучвания са концентрирани върху три участъка условно наречени „Лагуната“, „Плажа“ и „Ливадата“, поради индикации за наличие на археологически обекти [Leshtakov et al, 2016b] – стара римска вила със съпътстваща инфраструктура. Участък „Лагуната“ се намира между шосето и блатото Алепу, участък „Плажа“ – срещу „Лагуната“, а участък „Ливадата“ – западно от шосето преди завоя за включване към републикански път П-99 (Фиг. 17). Във всеки един от участъците е проведен комплекс геофизични проучвания, включващи геомагнитни, георадарни, капаметрични, а в участък „Лагуната“ и електротомографски изследвания, по правоъгълни участъци, привързани към план-квадратни мрежи с размери 5 x 5 m.



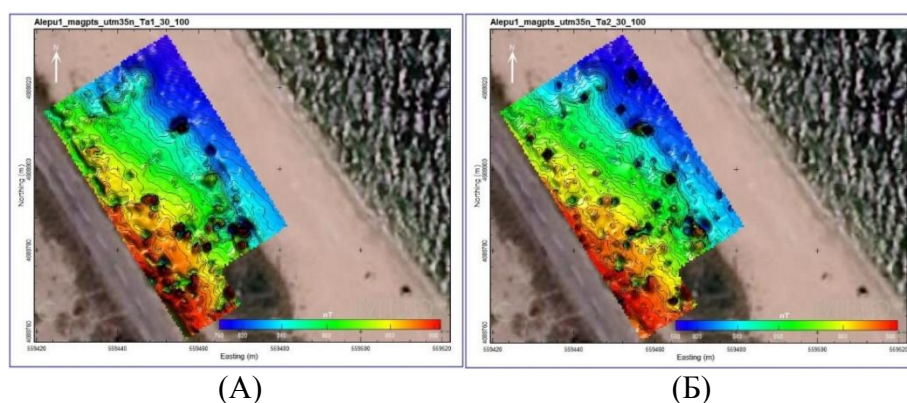
Фиг. 17. Схема на контурите на проучвателните участъци в обект „Алепу“ с разположение на електротомографските профили и капаметричните точки в участък „Лагуната“

Магнитна снимка

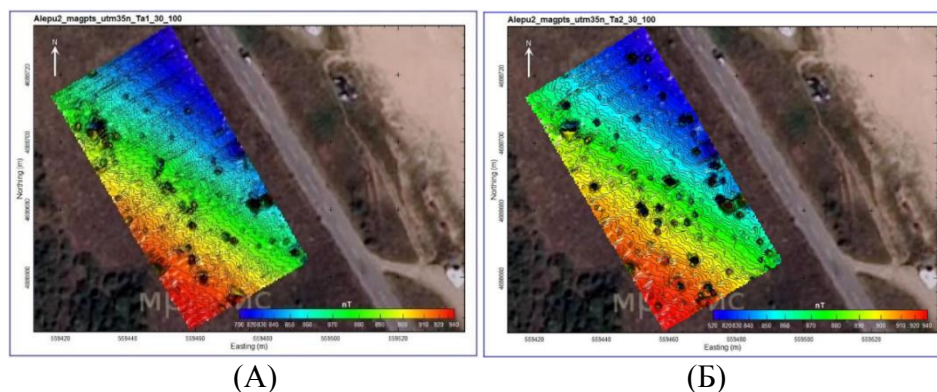
И в трите участъка са извършени измервания на геомагнитното поле. Измервателните точки по участъци са 5921 бр. за участък „Лагуната“, 4454 бр. за участък „Плажа“ и 6314 за участък „Ливадата“, като покритите площи са съответно 2,8 дка, 2,625 дка и 3,2 дка – Фиг. 18, Фиг. 19, Фиг. 20. Аномалните участъци потвърждават наличието на неразкопани обекти, като част от артефактите (основно керамика) се откриват на стръмния скат на плажа.



Фиг. 18. Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле Ta_1 за първо ниво (А) и Ta_2 за второ ниво (Б) на градиентометъра в обект „Алепу“ – участък „Лагуната“



Фиг. 19. Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле Ta_1 за първо ниво (А) и Ta_2 за второ ниво (Б) на градиентометъра в обект „Алепу“ – участък „Плажа“



Фиг. 20. Карта на аномалните стойности на тоталния вектор на геомагнитното поле Ta_1 за първо ниво (А) и Ta_2 за второ ниво (Б) на градиентометъра в обект „Алепу“ – участък „Ливадата“

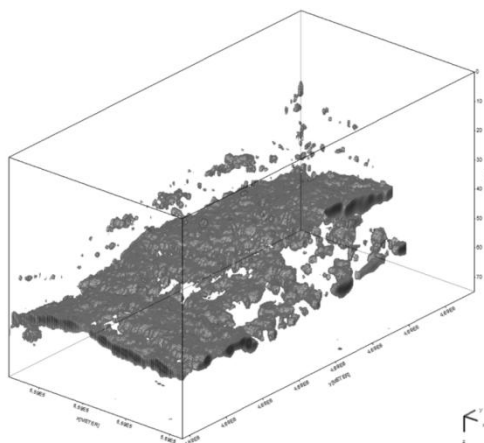
Георадарни измервания

В по-голямата си част георадарните измервания съвпадат с магнитните профили. Техниката на събиране на данни е идентична с магнитните измервания – зигзагообразно, като всички профили са ориентирани по направление север – юг. В североизточния

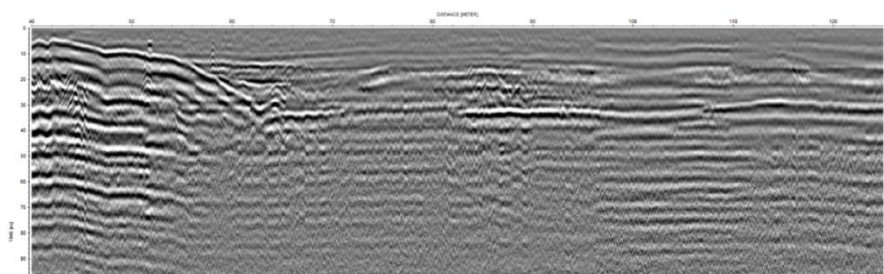
участък са измерени 41 георадарни профила, които са с дължина 80 m в източната му половина и 60 m в западната. Общата им дължина възлиза на 2880 m. Съседният участък „Плажа“ е изучен с помощта на мрежа от 42 профила с обща дължина 1965 m върху площ от 1,9 дка. Два допълнителни профила, всеки с дължина 85 m, са прокарани на север извън участъка. В участък „Ливадата“ са извършени измервания по 36 георадарни профила с единична дължина 75 m. Общата дължина на профилите е 2700 m, а изследваната площ – 2,6 дка. Резултатите дават възможност за моделиране на палеорелефа в древността – Фиг. 21.

2. Експериментални резултати

Най-широкомащабните геофизични изследвания са проведени на обект „Пропаднала вода“. Проявите на различните геофизични полета, контрастността във физичните свойства на вместващата среда и аномалните обекти (стара рудна галерия, антична пещ, рудна зона) водят до ефективното използване на почти целия комплекс от геофизични методи – магнитопроучване, електротомография, георадар, радиометрия и капаметрия. Допълващите резултати повишават значително възможностите за количествена и качествена интерпретация и са полезно насочващи към бъдещи археологически разкопки.



Фиг. 21. Модел на палеорелефа съставен от триизмерния георадарен модел на участък „Лагуната“, обект „Алепу“



Фиг. 22. Илюстрация по георадарен профил GPR43 от обект Алепу, участък Плажа

Обект „Атия“ с разкритите на повърхността шлаки и стопилки – резултат от древна минно-добивна и металургична дейност (по всичко личи, че древните рудари са извличали медта и са оставяли желязото, поради невъзможност да го обогатяват и използват), както и полуразрушените пещи са потвърдени с използването на магнитометрия и

електротомография. Аномалните магнитни зони са мозаечно разположени и това отчетливо личи на градиентометрията. Те очаквано са с повишени магнитни свойства и понижено електросъпротивление. Ниското електрическо съпротивление се наблюдава от повърхността до дълбочини от 2-3 метра, като достига стойности от 30 ом.м. Доколкото съществуват повърхностни разкрития, планирането и извършването на геофизичните проучвания имат потвърдителен и рекогносцировъчен характер. Потвърдени и масово локализирани са древни шлаки и стопилки, както и по-големи обекти (пещи), които могат да бъдат обект на допълнителни археологически разкопки. С помощта на геофизичните методи е установено, че търсените обекти са на неголяма дълбочина (до 1-3 m), което допълнително улеснява археолозите.

Обект „Алепу“ има потвърдителен характер за известна римска вила, разположена на височината над плажа. Наблюдаваните аномалии корелират с разрушени, мозаечно разположени останки от градеж (вилата) и по слабо интензивни магнитни аномалии, доминирани от струпания на керамика, видна и на склона към плажа. Моделираният предполагаем палеорелеф, установен с помощта на георадара, добре илюстрира удобното място, избрано за постройките на древната вила. Предстоят археологически разкопки на обекта. Проведените металометрични измервания не доведоха до откриването на древни метални предмети, но за сметка на това бяха идентифицирани множество съвременни железни останки – най-вече от лодки и корабни отломки.

Изводи и заключение

Прилагането на широк комплекс от геофизични методи за изследване на повърхностния разрез за целите на археологията потвърди ефективността на методологията, за намаляване на нееднозначността при решаването на обратните геофизични задачи. Използването на високоточна магнитна снимка и комбинирането ѝ с градиентометри, добавянето на допълнителна информация за магнитните свойства на най-повърхностния слой (капаметрия) спомагат значително за откриването и оконтурването на магнитни обекти дори с невисоки съдържания на феромагнитни минерали.

Електротомографията заедно с георадара спомагат за картирането на проводящи нееднородности, като се допълват взаимно. Това дава възможност при благоприятно стечение на обстоятелствата да се проследи палеорелеф – важен параметър, използван и при изследвания на други археологически обекти (напр. устието на р. Ропотамо) [Dimitrov et al, 2019].

Радиометричните измервания, независимо от своята относителна самостоятелност, дават възможност за откриване и картиране на радиоактивни материали, в конкретния случай, свързани с древни рупи.

ЛИТЕРАТУРА

- Dimitrov K., D. Pantov, C. Tzankov, A. Kisyov, 2019. Geofizichni prouchvania v raiona na nos Sv. Dimitar i ustieto na r. Ropotamo [Geophysical prospection in the region of cape Sv. Dimitar and Ropotamo river estuary]. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2018* [Archaeological discoveries and excavations in 2018], NAIM [NAIM], 732-734.
- Dimovski S., N. Stoyanov, C. Tzankov, A. Kisyov, 2012. Elektrotomografski izsledvania v raiona na Zografski manastir v Sveta Gora, Aton. [Electro tomography investigations in the region of Zografou monastery, Mount Atos]. *Godishnik MGU* [Annual MGU], 55, 96-101

- Dimovski S., R. Radichev, C. Tzankov, A. Kisyov, 2020. *Geofizichni izsledvania [Geophysical Investigations]*. Sofia, Sv. I. Rilski ed. House.
- Kisyov A, C. Tzankov., 2015. Geofizichni izsledvania na mogili 1, 2 i 3 v Mushovi mogili s. Jitnica, obshtina Kaloyanovo [Geophysical investigations of the 1, 2 and 3 hills, Mushovi mogili, Jitnica, Kaloyanovo district]. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2014 [Archaeological discoveries and excavations in 2014]*. NAIM [NAIM], 317-325.
- Leshtakov P., C. Tzankov, A. Kisyov, 2017. Geofizichno prouchvane na kusnoneolitno selishe Budzaka, Sozopol [Geophysical exploration of the late eneolithic village Budzaka, Sozopol]. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2017 [Archaeological discoveries and excavations in 2017]*, NAIM [NAIM], 757-760.
- Leshtakov, P., C. Tzankov, A. Kisyov, K. Dimitrov, 2016a. Geofizichni izsledvania na dreven rudodobiv I metalurgichen centar v rudno nahodishte Propadnala voda [Geophysical investigations of ancient ore exploitation and metallurgic center in ore deposit Propadnala voda]. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2015 [Archaeological discoveries and excavations in 2015]*, NAIM [NAIM], 2016a, 354-359.
- Leshtakov P., C. Tzankov, A. Kisyov, K. Dimitrov, 2016b. Geofizichni izsledvania na praistoricheski obekt v zonata na Alepu, Sozopol. [Geophysical investigations of a prehistoric object near Alepu]. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2015 [Archaeological discoveries and excavations in 2015]*. NAIM [NAIM], 354-359.
- Leshtakov P., M. Ivanova, G. Samichkova, Y. Ilieva, T. Dimitrov, F. Fox, C. Tzankov, A. Kisyov, 2016. Arheologicheski razkopki i geofizichno prouchvane na kasnohalkoliten ukrepen obekt Avren – Bobata, oblast Varna [Archaeological excavations and geophysical survey at the Avren-Bobata late chalcolithic fortified site, Varna municipality] *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2015 [Archaeological discoveries and excavations in 2015]*. NAIM [NAIM], 124-126.
- Ranguelov B., 2021. Geofizika i archeologia [Geophysics and archaeology]. *Izledovatel [Investigator]*, 16, 15-24.
- Radichev R., S. Dimovski, C. Tzankov, A. Kisyov, 2013a. Geofizichni izsledvania za izuchavane na pripovarnostnia stroej na zemnata kora [Geophysical investigations of the surface layer of the Earth's crust]. *Minno delo i geologia [Mining and Geology]*, 7/8, 38-43
- Radichev R., E. Michailov, A. Kisyov, 2013b. Gravimetrichni popravki i faktori vliaeshti na visokotochnite izmervania na silata na tejestta [Gravimetry corrections and factors influencing the high precision gravity measurements] *Godishnik MGU [Annual MGU]*, 56, 151-145
- 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. *Conf. Proc. 10th Congress of the Balkan Geophysical Society*, 1-5.
- Stoyanov N., S. Dimovski, A. Kisyov, 2019. Seawater intrusion in the Alepu protected area, part of the Ropotamo complex (Southern Bulgaria). *Conf. Proc. 10th Congress of the Balkan Geophysical Society*, 18-22 September 2019, Albena Resort, Bulgaria.
- Torbatov S., C. Tzankov, A. Kisyov, B. Ivanova, 2017. Geofizichno prouchvane na kusnorimska putna stancia pri Anishte, Garanichak, obshtina Belogradchik [Geophysical prospecting of late Roman road station near Anishte, Granichak, Belogradchik district. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2017 [Archaeological discoveries and excavations in 2017]*, NAIM [NAIM], 726-729.

- Tzankov C., A. Kisyov, 2015. Experimentalni georadarni izsledvania na Pamuk mogila selo Brestovica, obshtina Rodopi [Experimental geodadarar research of Pamuk hill, Brestovica, Rodopi district]. *Godishnik MGU [Annual MGU]*, 58-I, 112-119.
- Tzankov C., A. Kisyov, P. Leshtakov, 2017. Geophysical studies of traces of ancient mining and metallurgy in the eastern part of the Srednogorian metallogenic zone. *Conf. Proc. 9th Congress of the Balkan Geophysical Society*, 5-9 November 2017, Antalya, Turkey.
- Tzankov C., A. Kisyov, R. Radichev, M. Yankova, N. Kirilov, 2015. Geofizichni izsledvania za celite na arheologiata v rezervat Sborianovo [Geophysical investigations for archaeology in reserve area Sborianovo. *[Proc. VII Nac konf. Po geofizika VII nat. Conf. Geophysics]*. Sofia, 20-23 May 2015.
- Zidarov P., C. Tzankov, D. Borisova, R. Komp, S. Bakardzhiev, A. Kisyov. Integrated use of remote sensing techniques at the ancient town of Cabyle (Conference Presentation). *Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications IX*, Proc. Vol. 10790, Publ. 5 November 2018.
- Zidarov P., T. Valchev, S. Bakardjiev, C. Tzankov, A. Kisyov, R. Komp, 2017. Izdirvane na selishtni structure s kompleks ot distancionni metodi v i okolo Kabile. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2017 [Archaeological discoveries and excavations in 2017]*, NAIM [NAIM], 750-753.
- Zidarov P., V. Petrova, C. Tzankov, A. Kisyov, K. Dimitrov, I. Petri, 2016. Arheologicheski razkopki I geofizichni prouchvania na kusnohalkoliten ukrepen obekt Bobata-Avren, oblast Varna [Archaeological excavations and geophysical investigations of late chalcolithic forced object Bobata-Avren, Varna district. *Arheologicheski otkritia i razkopki prez 2015 [Archaeological discoveries and excavations in 2015]*. NAIM [NAIM], 231-235.