

APPLICATION OF A GEOPHYSICAL METHODS FOR SEARCHING AND LOCATING BURIED UNEXPLODED ORDNANCE IN THE AREA OF THE TRAKIYA LIVING ESTATE, THE TOWN OF PLOVDIV

Christian Tzankov, Atanas Kisyov, Yanko Ivanov

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ch.tzankov@gmail.com; at.kisyov@gmail.com; ianko@mail.bg

ABSTRACT. In 2017, during the execution of excavation works in the area of blocks of flats № 244, 245, and 248 of the *Trakiya* living estate in the town of Plovdiv, old ammunition (aviation bombs) was discovered buried. Detailed geophysical studies involving ground penetrating radar, ground magnetic gradiometry, and a metal detector were therefore carried out in this restricted dangerous area. The aim of the study was to search and locate anomalous areas that could be connected to the presence of other unexploded ordnance (UXO) buried underground.

Based on the processed and interpreted geophysical data, several anomalous areas were identified on which the attention of the authorities was focused. Subsequently, a military sapper formation carried out an inspection of the indicated areas, where a total of 14 training ammunition units were found. Finally, the excavated UXO was transported and destroyed at a military training ground.

Key words: UXO, GPR, magnetic gradiometry, metal detecting.

ПРИЛАГАНЕ НА ГЕОФИЗИЧНИ МЕТОДИ ЗА ТЪРСЕНЕ И ЛОКАЛИЗИРАНЕ НА ЗАРИТИ НЕВЗРИВЕНИ БОЕПРИПАСИ В РАЙОНА НА Ж.К. ТРАКИЯ, ГР. ПЛОВДИВ

Християн Цанков, Атанас Кисъов, Янко Иванов

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. През 2017 г. по време на изпълнение на изкопни дейности в района на жилищни блокове 244, 245 и 248 на кв. "Тракия" в гр. Пловдив бе разкрит погреб на стари боеприпаси (авиационни бомби). Това наложи в опасния участък да бъдат проведени детайлни геофизични изследвания със задача търсене и локализиране на аномални зони, които биха могли да бъдат свързани с наличието на други зарити под земната повърхност невзривени боеприпаси. За целта бе приложен геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и метал-детектор.

Въз основа на обработените и интерпретирани геофизични данни са набелязани няколко участъка, към които бе насочено вниманието на властите. Впоследствие военно сапъорско формирование извърши проверка на посочените участъци, където бяха открити общо 14 учебно-тренировъчни муниции. В заключение всички извадени боеприпаси бяха транспортирани и унищожени на военен полигон.

Ключови думи: невзривени муниции, георадар, магнитна градиентометрия, металдетектор.

Въведение

През пролетта на 2017 г., по време на изкопни работи за полагане на подземни комуникации в предвидена за застрояване тревна площ, оградена от жилищни блокове 244 (от запад), 245 (от север) и 248 (от изток) и ул. „Поручик Боян Ботев“ (от юг) на жилищен район „Тракия“ в гр. Пловдив (фиг. 1), строителите се натъкват на погребани стари боеприпаси.

На 04.05.2017 г., военнослужещи от Сухопътни войски изземат 7 броя невзривени боеприпаси. Транспортирани за унищожаване са 3 авиационни бомби с размери 120/30 см, 3 x 88 mm корозирани снаряди за мини или минохвъргачки и един 100 mm снаряд. На следващия ден са открити още 3 бомби. Едната с дължина около 100 см и диаметър около 26 см, а другите две авиобомби – с дължина около 22 см и диаметър около 10 см. Те също са транспортирани до военен полигон и обезвредени (Тотева, 2017).



Фиг. 1. Обзорен изглед към района на проведените изследвания (червеният правоъгълник в средата)

Във връзка с въведените мерки за обезопасяване на района в МГУ „Св. Иван Рилски“ се получи писмо от кмета на р-н „Тракия“ с молба за извършване на безразрушително техническо обследване на територията на засегнатия участък. Сформиран бе тричленен екип от представители на катедра „Приложна геофизика“, включващ гл. ас. д-р Хр. Цанков, ас. Ат. Кисъов и бакалавър Я. Иванов, който да посети и изследва чрез безразрушителни (геофизични) методи площадката с находката.

На 15.05.2017 г., при стриктно спазване на всички необходими мерки за безопасност и качество на работа бяха проведени детайлни геофизични изследвания със задача търсене и локализиране на аномални зони, които биха могли да бъдат свързани с наличието на зарити под земната повърхност невзривени боеприпаси. За целта е приложен геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и търсене с метал-детектор.

1. Използвани геофизични методи

1.1. Кратка характеристика на георадарния метод

Георадарът е проучвателна система, която използва високочестотни електромагнитни вълни (от десетки до стотици MHz). Тя регистрира промените в електричните характеристики (проводимост и диелектрична проницаемост) на средата, които са в пряка зависимост от вида на почвите и скалите, влажността и порестостта им.

Георадарът възпроизвежда в реално време вертикални разрези (радарграми) на геоложките, хидрогеоложките и аномалните условия. Често още по първичната радарграма е възможна интерпретацията на слоеве, линейни и точкови рефлектори. Стандартно обаче, първичните радарграми се обработват допълнително, при което се постига максималното им съответствие с реалността и последващата им обективна интерпретация.

Георадарният метод се използва успешно за решаване на геоложки, геотехнически, инженерни, археоложки, съдебни, военни и други задачи (Цанков и Янкова, 2013).

1.2. Кратка характеристика на геомагнитния метод

Магнитните методи в геофизиката дават възможност за изучаване на геоложкия строеж на земната кора и литосферата въз основа на аномалиите на геомагнитното поле. Тези аномалии се дължат на различното съдържание или отсъствие на феромагнитни минерали в скалите, както и наличието на феромагнитни предмети.

Силата и/или елементите на геомагнитното поле се определят с апарати наречени магнитометри. В зависимост от тяхната точност и допълнителни възможности магнитометрите могат да бъдат използвани за решаването на редица задачи в най-различни сфери на познанието, включващи: структурна и рудна геология; изследване на околната среда; разнообразни инженерни задачи; локализиране на комуникации; откриване на зарити снаряди и боеприпаси; археоложки проучвания; измервания в магнитни обсерватории; мониторинг на вулкани и прогнозиране на земетресения; откриване на подводници и потънали кораби; медицината и др.

Ролята на магнитните проучвания в тези изследвания е да бъдат локализирани местата с аномално поле, съответстващо по форма и интензитет на потенциални

зарити боеприпаси. Малкият размер на търсените обекти, ефектът от които силно намалява с увеличаване разположението им в дълбочина, както и очакваното наличие на типични за градска среда електромагнитни смущения ограничават приложението на метода.

1.3. Метален детектор

Металните детектори представляват стационарни (тип рамка) или ръчни инструменти, които се използват за откриване на различни по размер метални предмети в дрехи и ръчен багаж или на малка дълбочина (до 1 m). Съвременните ръчни детектори се състоят най-често от две бобини. В едната от бобините на устройството се генерира постоянно електромагнитно поле с честота от няколко килохерца, което се предава в околната среда. По този начин във втората бобина се индуцира слаб, но постоянен електрически ток. При поява на метален обект в създаденото от уреда хомогенно електрично поле, в метала се индуцира собствено вихрово електромагнитно поле, което от своя страна се излъчва в околното пространство. Това довежда до промяна в електрическия баланс между бобините или в тока отчетен във втората бобина. В зависимост от възможностите на устройството, чрез звуков сигнал, светлинна индикация и/или информация на дисплей се сигнализира за намерен обект.

Ръчни метални детектори с опростени функции се използват за търсене на различни видове мини и погребани боеприпаси, когато в конструкцията си съдържат метални компоненти.

2. Използвана геофизична апаратура

2.1. Георадарна система UtilityScan SIR-3000

UtilityScan е стандартна георадарна система за търсене и локализиране на подземни съоръжения. Тя се състои от контролно устройство (SIR-3000), георадарна антена според вида на задачата и количка за неравен терен.

Георадарът модел SIR-3000, произведен от Geophysical Survey Systems Inc. (GSSI) USA, се е доказал като световен стандарт в тази област. С негова помощ бързо могат да бъдат открити и определени местоположението и дълбочината на обслужващи съоръжения (газопроводи, комуникации, канализационни линии) и други метални и неметални обекти, включително подземни резервоари за съхранение и PVC тръби.

Изследванията са проведени с 270 MHz георадарна антена модел 5104A производство на GSSI, Inc. Средночестотната антена модел 5104A е предназначена за решаване на инженерни, геотехнически, инженерно-геоложки, археоложки и др. задачи. Успешно се използва за пространственото определяне на зарити обекти, комуникации, ниво на подземните води и др.

2.2. Протонен магнитометър/градиентометър модел GSM-19TGW

Протонният градиентометър модел GSM-19TGW е стандартен преносим измервателен уред създаден за мобилна или стационарна работа. В комплекта влизат контролно устройство, два магнитни сензора, които се монтират на известно разстояние един над друг както и високочестотен (< 1,5 m) диференциален GPS. 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.

В конкретния случай градиентометърът е използван за регистриране на геомагнитните данни по трасетата на проучвателните профили, покриващи изследвания обект.

2.3. Магнитометър модел GSM-19 (Overhauser)

Протонният магнитометър GSM-19 v7.0 служи за полеви измервания на тоталния вектор на магнитното поле на Земята. Високата разделителна способност на този магнитометър 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 муниции; археология и др.

В случая GSM-19 е използван за базова станция.

2.4. Метален детектор Spectra V3i

За целите на проучването бе използван метален детектор Spectra v3i на американската компания White's Electronics, Inc. Представляващ съвременен инструмент, позволяващ откриването на метални обекти на дълбочина над 1 m, в зависимост от техният размер.

Метал-детекторът е уникален с това, че освен максимална дълбочина на проникване предлага и едновременната работа на три различни честоти (22.5 kHz, 2.5 kHz, и 7.5 kHz), с което се гарантира качеството на работа при всякакви теренни условия. Използването на трите работни честоти, спомага и за по-точната локализация и диференциация на металните предмети.



Фиг. 2. Разположение на изследвания участък върху подложка от аерофотографско изображение от 2011 г.

3. Техника на геофизичните проучвания

Изследванията са съсредоточени в рамките на предвиден за застрояване участък с b-образна форма

(фиг. 2). Изследваната площ е разделена на два подучастъка – 1 и 2. Измерванията обикалят около сградата на аптека, която не е съществувала при заснемането на използваното за подложка ортофотографско изображение. Участък 1 с размери 15 x 14 m е от южната страна на аптеката, а участък 2 с размери 5 x 12 m от запад.

Участъците са оразмерени с помощта на рулетки, като на всеки метър от периметъра на площта е забивано дървено колче. Развитата по този начин измервателна мрежа послужи за привързване на по-нататъшните геофизични измервания. Изследванията с метален детектор имаха предимно ориентиран характер, докато георадарът и геомагнитните проучвания са привързани по строго ориентирани профилни линии.

3.1. Изследване с метал-детектор

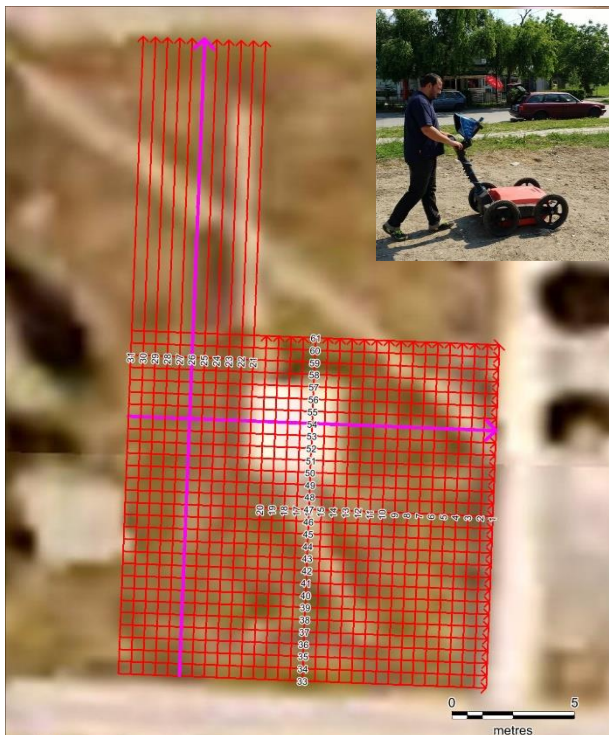
Преди началото на георадарните и геомагнитните проучвания теренът е проучен с метал-детектор (фиг. 3). Отстранени са множество дребни метални предмети, намиращи се в непосредствена близост до земната повърхност, тъй като те биха добавили допълнителни смущения в измерваните геофизични полета.



Фиг. 3. Разпределение на зоните с различна активност на металния сигнал и момент от изследването на обекта с помощта на метален детектор (горе вдясно)

Според интензивността на металния сигнал са набелязани три зони (фиг. 3). Първата, най-активна, оцветена в червено, се намира западно от аптеката, обхваща разкопания участък с откритите боеприпаси. Наблюдават се строителни отпадъци, арматурно желязо и други метални парчета, които са разчистени. По цялата оцветена в синьо площ са регистрирани непрекъснати линейни обекти, вероятно резултат от подземно окабеляване и/или водоснабдяване, както и множество дребни метални предмети, предимно с битов произход, които бяха отстранени. Върху ограждащите обекта тревни площи, оцветени в зелено на фигура 4, индикацията за

метални предмети е значително по-слаба, като на места практически липсва.



Фиг. 4. Разположение на георадарните профили в площта с удебелени профилни линии GPR26 и GPR54 и момент от изследването с георадар (горе вдясно)

3.2. Особенности на георадарните проучвания

Георадарните работи в проучената площ са осъществени по успоредни, отстоящи на 0,5 m един от друг измервателни профили изпълнени в две пресичащи се перпендикулярно направления: юг-север и изток-запад. Придвижването по профилите е осъществено зигзагообразно, чрез количка за пресечен терен модел 643, снабдена с електронно измервателно колело, към която са прикрепени георадарът и измервателната антена (фиг. 4).

Натрупването на данни е извършено при следните настройки на апаратурата:

За антена модел 5104A (270 MHz):

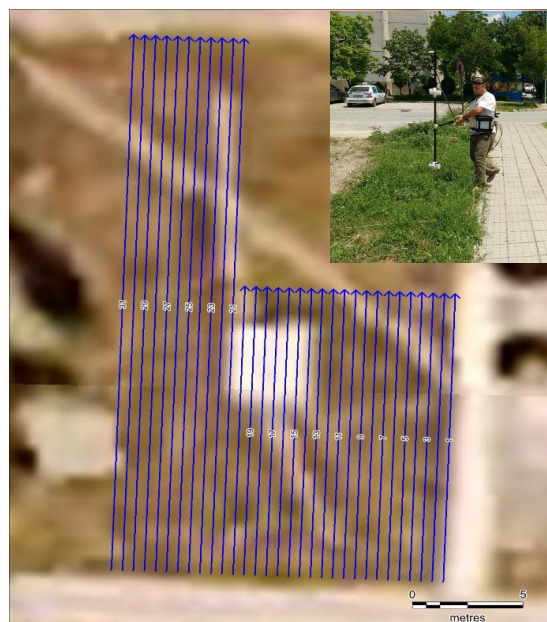
- интервал на дискретизация: 2048 семпъл/скан;
- скорост на сканиране: 50 скан/метър;
- времеви прозорец: 75 ns;
- усилване на сигнала (dB): 4 точково
- верт. филтър: LP = 800 MHz; HP = 100 MHz; хор. филтър: не.

Данните от георадарните изследвания са натрупани в 16 bit *.dzt (RADAN) формат и прехвърлени на работна станция за постпроцесинг.

3.3. Особенности на геомагнитните проучвания

Подобно на георадарните, геомагнитните изследвания покриват площта с успоредни профили през 0,5 m (фиг. 5). Магнитните измервания са проведени единствено в направление юг-север. За целта са използвани два броя магнитометри – GSM-19TGW и GSM-19 – като с първия магнитометър е работено в режим „градиентометър с непрекъснат запис“ („walkmag“) (фиг. 5). Въз основа на

регистрираните стойности на геомагнитното поле на две нива, отстоящи вертикално на 100 cm едно от друго, е определена не само големината на интензитета на геомагнитното поле, но и неговия вертикален градиент. Записът на данните за полето е осъществен при интервал от 1 s (1 Hz). Вторият магнитометър е използван като базова станция. Денонощната вариация на магнитното поле в базовата точка (BT) е измервана на всеки 3 s (0,33 Hz).



Фиг. 5. Разположение на геомагнитните профили в площта и момент от изследването с магнитометър (горе вдясно)

По време на измерванията е спазвана една и съща посока за набиране на магнитните данни и е съблюдаван принципът, мерещият магнитометър да е винаги в едно и също положение спрямо оператора и посоките на света. По този начин е намален максимално ефектът от внасяне на допълнителен систематичен шум от собственото магнитно поле на оператора при промяна на положението му (отляво или отдясно) спрямо сензорите.

4. Обработка и резултати от геофизичните изследвания

4.1. Обработка на георадарните данни и резултати

Георадарните данни са получени в DZT-формат (*.dzt), като в същия вид са въведени и обработени в програмата RADAN 3D v7 на GSSI, Inc. За целта е приложена стандартна последователност от основни филтри (TimeZero, Background Removal, Test/Apply Filters, Envelope).

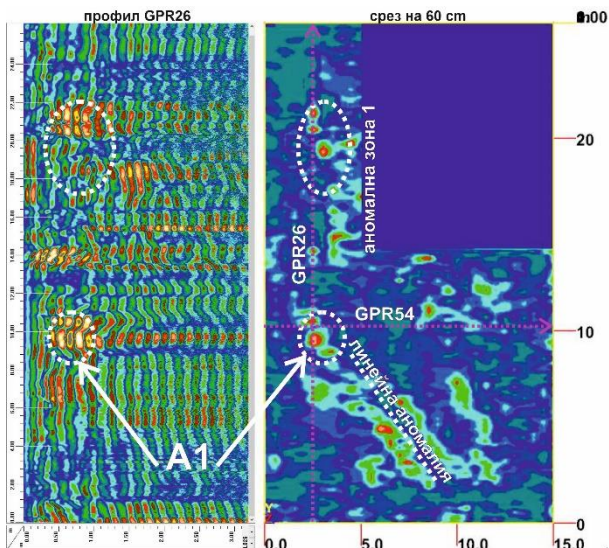
При отделни радарграми е извършена допълнителна обработка за постигане на максимална чистота на сигнала.

След обработката, радарграмите са използвани за създаване на триизмерен георадарен модел.

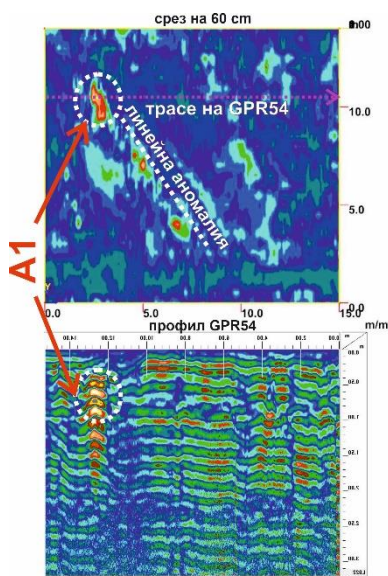
На радарграмите и създадените георадарни модели се наблюдават множество аномалии с различни форма, разположение и интензитет. Подобна картина е типична за нехомогенна среда (насип), от каквато очаквано е изграден проученият разрез. Предвид характера на търсените обекти, при по-нататъшния анализ на данните вниманието

бе насочено главно към по-интензивните аномалии предизвикани от издължени и плитки (от 20 до 100 cm) източници.

За онагледяване резултатите от георадара са избрани два пресичащи се представителни профила (GPR26 и GPR54), които на схемата с профилите са подсилени в розово (фиг. 4). По-долу, заедно с радарграмите от двата профила, са добавени и по два подходящо избрани хоризонтални дълбочинни срезове от триизмерния георадарен модел (фиг. 6 и 7).



Фиг. 6. Аномалии, набелязани по георадарен профил GPR26 (вляво) със хоризонтален срез на 60 cm дълбочина (вдясно)



Фиг. 7. Аномалии набелязани по георадарен профил GPR54 (долу) с хоризонтален срез на 60 cm дълбочина (горе)

На представените радарграми, както и на съседните на тях, ясно се различава аномален обект А1. Той има размери около 50 – 60 cm и е разположен на около 40 cm дълбочина (фиг. 6 и 7). Обектът се намира на 12,5 m западно от източния край на изследвания участък и на 10,5 m северно от южния му край. Става въпрос за цилиндричен метален предмет и имайки предвид находките открити на около 7 – 8 m северно от него, е препоръчано този участък да бъде взет под особено внимание.

Поради нарушената цялост на земната повърхност (наличието на насипи и изкопи) данните от района на зоната с откритите на по-ранен етап погребани боеприпаси са сложни за интерпретация. Въпреки това се набелязват серия от дребни аномалии, които са обединени в аномална зона 1 (фиг. 6). Вероятността групата от аномалии да е предизвикана от останали неразкрити боеприпаси е висока, затова тук също са препоръчани специални дейности.

Друга особеност, която излиза на преден план при анализа на георадарните модели, е наличието на издължена линейна аномалия или по-скоро серия от издължени аномалии, които оформят структура с направление северозапад-югоизток (фиг. 6 и 7). Възможно е произходът на аномалията да е свързан с останки от стар път, траншея, канал, оградно съоръжение или др. линейен обект. Наличието на серия от по-малки изометрични аномалии по протежение на линейната структура вероятно е свързано с наличието на насип с отпадъци, вкл. метални или стоманобетонни парчета. Трябва да се вземе под внимание, че аномален обект А1 попада на „трасето“ на линейната аномалия, така че е възможно той да отразява някаква част от тази структура.

4.2. Обработка на геомагнитните данни и резултати

В края на полевия ден геомагнитните данни са коригирани за денонощна вариация със стойностите от базовата станция (БТ) при референтно ниво $T_{PH} = 47\,520$ nT по формулата:

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

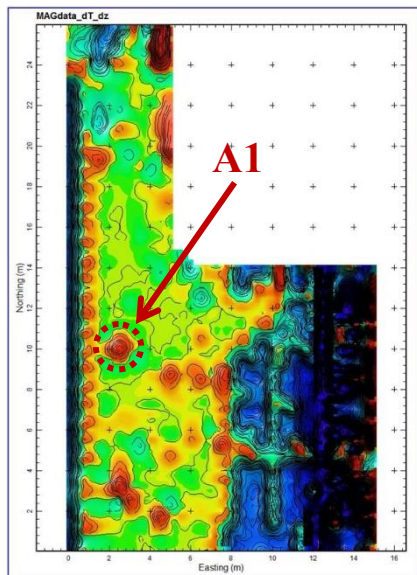
Данните от двата магнетометъра са прехвърлени на работна станция за по-нататъшна обработка. Направена е справка за характера на денонощната вариация и в базата данни на Националната геомагнитна обсерватория Панагюрище (PAG) (Trifonova et al., 2021). По данните от БТ и PAG са съставени графики на вариацията, които са сравнени. Извършена е и проверка за магнитни бури на страницата на НИГГГ – БАН. От прегледаните данни е видно, че за периода на магнитните измервания (от 13:30 до 14:30 ч. на 15.05.2017 г.) космическата магнитна активност е слаба.

Коригираните стойности на геомагнитното поле $T_{кор}$ 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 аномалното геомагнитно поле T_a спрямо модела на Международното геомагнитно референтно поле, епоха 2015 (IGRF-12).

Въз основа на обработените първични данни и с помощта на софтуер за генериране на мрежи са създадени серия от правоъгълни мрежи с гъстота на точките 0,25 x 0,25 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 първо ниво;
- Карта на вертикалния градиент на геомагнитното поле.

Анализът на получените карти показва, че геомагнитното поле в района на изследвания участък е силно смутено. Това бе очакван ефект, предвид заобикалящата градска среда. Най-вероятната причина за това е наличието на подземна електропреносна мрежа под източната граница на изследвания терен. Допълнителни смущения внасят стълбовете на уличното осветление, сградата на аптеката и паркираните в непосредствена близост до участъка автомобили. За съжаление, всичко това води до практическа невъзможност за интерпретация на геомагнитните данни.



Фиг. 7. Карта на вертикалния магнитен градиент в района на изследванията с обозначени най-характерни аномалии

Единствено в картата на вертикалния магнитен градиент (фиг. 7) се наблюдават няколко по-добре изразени локални аномалии, вероятно свързани с наличието на магнитоактивни подземни обекти. На фигурата е отбелязан единствено аномалният участък, който съответства на наблюдавания в радарните данни обект А1. Това припокриване на аномалиите еднозначно указва наличието на подземен метален предмет.

Изводи, заключения и резултати

Във връзка с проведените детайлни геофизични изследвания за търсене и локализиране на зарити невзривени боеприпаси в района на ж.к. „Тракия“, гр. Пловдив могат да бъдат направени следните основни изводи и заключения:

- Използван е геофизичен комплекс, включващ георадар, геомагнитна градиентометрия и търсене с метален детектор.
- Проучена е площ от 270 m².
- С помощта на метал-детектора площта е разделена на три участъка с различна плътност и интензивност на металния сигнал.
- Въз основа на обработените и интерпретирани георадарни данни бяха набелязани няколко участъка, в които е препоръчано да се подходи с особено внимание при последващото разчистване на терена.
- Наличието на характерни за градската среда електромагнитни и магнитни смутители доведоха до силни смущения в измерваното геомагнитно поле, което значително ограничи възможностите на метода. В тази връзка, при необходимост от използване на магнитометър в урбанизирана и/или индустриална среда, по-удачният избор би бил градиентометър модел GSMP-25G.

На 16.06.2017 г., след приключване на последвалата проверка на военните за невзривени амуниции в района на проучванията бяха открити още общо 14 учебно-тренировъчни муниции. Иззетите стари боеприпаси са транспортирани и унищожени на военен полигон (Владимиров и Крушкова, 2017).

Мерките по обезопасяване на районна бяха проведени при безупречна организация, което доведе до успешен завършек на акцията. Като доказателство за отстранената опасност и отлично свършената работа, строителните дейности бяха продължени и днес на мястото на находките е построен хранителен магазин „Бомбата“.

Литература

- Владимиров, Д., Е. Крушкова. 2017. *Откритите боеприпаси в Пловдив са унищожени и няма опасност за гражданите*. Радио “Plovdiv”, публ. 16.6.17.
- Тотева, П. 2017. *Седем боеприпаси бяха извадени днес в междублоковото пространство в квартал Тракия в Пловдив*. Флашнюз, публ. 4.5.2017.
- Цанков, Хр., М. Янкова. 2013. *Георадарът навлиза широко в полевата геофизика*. *Минно дело и геология*, 5/6, стр. 31-35.
- Trifonova, P., Ch. Tzankov, M. Metodiev. 2021. *Importance of using a reference base station in geomagnetic surveys - case studies from Bulgaria*. *Proc. 11th Congress of Balkan Geophysical Society, 10-14 October 2021, Romania – virtual edition*, pp.1 – 5.